

Janette Koskinen

Annossalaattirasioiden sauman vahvuuden mittausmenetelmän kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

2.5.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janette Koskinen Annossalaattirasioiden sauman vahvuuden mittaamenetelmän kehittäminen 47 sivua + 6 liitettä 2.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja elintarviketekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	lehtori Hannu Turunen laatu- ja tutkimuspäällikkö Anssi Vuorinen
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli löytää Apetit Ruoka Oy:lle toimiva menetelmä annossalaattirasioiden sauman vahvuuden mittaamiseen. Menetelmällä tuli pystyä mittaamaan sitä voimaa tai painetta, jolla muovisen rasiakanneksi saumattu muovikalvo aukeaa. Kehitettävän menetelmän tuli olla sellainen, että sitä voitaisiin käyttää jatkossa tuotantolaitoksella osana sisäistä laadunvalvontaa, joten tarkoituksena oli myös miettiä, millainen ratkaisu soveltuisi tuotantolaitoksen tiloihin.</p> <p>Työssä tutkittiin yleisesti käytettyjä elintarvikepakkausten testausmenetelmiä ja niiden soveltuvuutta salaattirasioiden sauman vahvuuden mittaamiseen. Menetelmien joukosta valittiin testattavaksi yrityksen toiveiden mukaisesti puristustesti. Menetelmän luotettavuutta tutkittiin pitämällä kaikki kontrolloitavat muuttujat vakioina. Puristustesti tehtiin painamalla rasiakannekalvoa hydrauliprässin mäntään kiinnitettyllä puulevyllä. Sauman pettämiseen tarvittavaa voimaa mitattiin mäntään kiinnitetyllä voima-anturilla.</p> <p>Mittauksia suoritettaessa havaittiin, että kalvon irtoamiseen tarvittava voima tällä menetelmällä oli niin suuri, että osa voimasta taivutti rasiakanneunioja ja seinämiä sekä venytti kalvoa. Johtopäätöksenä tässä työssä selvisi, että puristusmenetelmä ei mittaakaan sauman vahvuutta.</p> <p>Vaikka menetelmää ei voitu käyttää sauman vahvuuden mittaamiseen, sillä voitiin mitata sitä voimaa, jonka rasia kesti joko taipumatta tai sauman pettämättä. Käsikäyttöisellä pumpulla puristuksen etenemistä ei saatu vakioitua tarpeeksi ja standardimittausepävarmuudeksi tuli lopulta 14,5 %. Myös näytteiden välillä havaittiin eroja, vaikka ne oletettiin samoiksi. Pääteltiin, että sähkökäyttöisellä prässillä tai vastaavalla puristustestejä voitaisiin suorittaa pienemmällä vaihtelulla.</p> <p>Tämä työ toimi esiselvityksenä puristusmenetelmän sopivuudesta osaksi salaattirasioiden laadunvalvontaa. Työssä saatiin myös selvitettyä hyvin sauman vahvuuteen vaikuttavia suunnittelu- ja häiriömuuttujia esimerkiksi mahdollista ajoparametrien optimoinnin suunnittelua varten.</p>	
Avainsanat	annossalaatti, pakkaus, muovikalvo, lämpösaumaus, rasiapakkauskone

Author Title	Janette Koskinen Test method for measuring seal strength of salad kit containers
Number of Pages Date	47 pages + 6 appendices 2 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Professional Major	
Instructors	Hannu Turunen, lecturer in Physics Anssi Vuorinen, quality and research manager
<p>This thesis was an assignment given by Apetit Ruoka Oy. The main target of this thesis was to find a reliable test method for measuring seal strength of ready-to-eat salad kit containers. The test method was supposed to measure either force or pressure required to separate heat-sealed plastic lid film from a semi-rigid plastic container. The intention was to develop a test method suitable for being used as part of internal quality management at the production facility.</p> <p>Common methods for testing different food packaging were studied and their suitability for measuring seal strength was evaluated. As desired by the company a compression test was chosen for further experimenting. The reliability of the method was examined by keeping all controlled variables constant. Compression test was carried out by pressing the lid film with a small wooden block attached to the piston of a hydraulic press. The force required to break the seal was measured by a force gauge placed between the block and the piston.</p> <p>It was observed that the force required to break the seal was so great that a part of it actually bent the container lips and walls and elongated the lid film. As a conclusion of the experimental part of this thesis, it was found that although the pressing force was focused on the lid the compression method actually does not measure seal strength.</p> <p>Even though the method was not suitable for measuring seal strength, it was capable of measuring the force a container is able to hold before bending or seal failure. Since the hydraulic press used in this experiment had to be pumped by hand, it was not possible to keep the pressing ratio constant and finally a standard error of measurements of 14,5 % was obtained. In addition, differences between samples were observed. It was determined that with an electric hydraulic press machine compression tests could be carried out with smaller deviation.</p> <p>This thesis was a preliminary investigation of compression test's suitability for quality management of salad containers. As a part of the thesis, controlled variables and disturbance variables that have an effect on seal strength were successfully defined, for example, for future optimizing of sealing conditions.</p>	
Keywords	ready-to-eat salad kit, packaging, plastic film, heat-sealing, tray sealer

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Elintarvikepakkaus	2
2.1	Pakkauksen merkitys	2
2.2	Pakkausmateriaalin valinta	2
2.3	Lainsäädäntö	4
3	Muovi pakkausmateriaalina	5
3.1	Yleistä polymeereistä	5
3.2	Muovien ominaisuudet pakkauksen kannalta	8
3.2.1	Polyeteeni (PE)	8
3.2.2	Polypropeeni (PP)	9
3.2.3	Polyeteenitereftalaatti (PET)	10
3.2.4	Polyamidit (PA)	11
4	Annossalaattipakkaukset	12
4.1	Annossalaatit ja pakkaustyypit	12
4.2	Muovirasiat	14
4.3	Muovikalvot	15
5	Rasioiden pakkaaminen	17
5.1	Pakkausprosessi	17
5.1.1	Suojakaasupakkaaminen	17
5.1.2	Lämpösaumaus	18
5.2	Sauman vahvuuteen vaikuttavat tekijät	19
6	Elintarvikepakkausten testaaminen	22
6.1	Kvalitatiiviset testit	22
6.1.1	Visuaalinen menetelmä	22
6.1.2	Vuototestit	22
6.2	Kvantitatiiviset testit	24
6.2.1	Puristustesti	24

6.2.2	Avaustestit	25
6.2.3	Hot tack	27
6.2.4	Painetesti	28
7	Materiaalit ja menetelmät	29
7.1	Materiaalit	29
7.1.1	Näytepakkaukset	29
7.1.2	Pakkauskone	30
7.1.3	Koejärjestelyt ja mittauslaitteet	31
7.2	Menetelmät	32
7.2.1	Koesuunnitelma	32
7.2.2	Puristustesti	33
7.3	Puristustestin tulokset	35
8	Yhteenveto ja pohdinta	42
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. Ensimmäisen mittauskerran tulokset	
	Liite 2. Toisen mittauskerran tulokset	
	Liite 3. Kolmannen mittauskerran tulokset	
	Liite 4. Neljännen mittauskerran tulokset	
	Liite 5. Viidennen mittauskerran tulokset	
	Liite 6. Testauslaitteita	

Lyhenteet

MAP	Modified atmosphere packaging eli suojakaasupakkaaminen
PA	Polyamidi
PE	Polyeteeni
PE-HD	Korkeatiheyksinen polyeteeni
PE-LD	Matalatiheyksinen polyeteeni
PE-LLD	Lineaarinen matalatiheyksinen polyeteeni
PET	Polyeteenitereftalaatti
PP	Polypropeeni

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehdään yhteistyössä Apetit Ruoka Oy:n kanssa, ja se käsittelee muovikalvolla suljettavia muovisia annossalaattirasioita. Annossalaattirasiat suljetaan automaattisella alustapakkaus-koneella, joka syöttää pakkaukseen suojakaasun ja lämpösau-maa muovisen rasian kanneksi muovikalvon. Työn tarkoituksena on löytää toimiva ja luotettava menetelmä sauman vahvuuden mittaamiseen. Teoriaosassa käsitellään pak-kauksen merkitystä elintarvikkeelle ja muovien käyttöä pakkausmateriaalina, annossa-laattien pakkauksia sekä rasiapakkaamisen periaatteita. Työssä selvitetään yleisesti käytettyjä elintarvikepakkausten testausmenetelmiä, joiden joukosta valitaan testatta-vaksi yrityksessä käytettäviin annossalaattirasioihin mahdollisesti sovellettava mene-telmä. Menetelmän luotettavuutta arvioidaan ja pohditaan muidenkin menetelmien sopi-vuutta kyseiseen tarkoitukseen.

Työ tehdään, koska yhdeksi suurimmista pakkausten kehityskohteista on koettu sau-mauksen laatu. Sauma saattaa vuotaa heti pakkaamisen jälkeen tai aueta liian helposti käsittelyn ja kuljetuksen aikana. Sauman vuotaminen aiheuttaa suojakaasun menettä-misen ja hapen pääsyn pakkaukseen sekä sen seurauksena tuotteen pilaantumisen en-nen viimeistä käyttöpäivää. Huonosti saumautuneet rasiat aiheuttavat tuotannossa uu-delleen tekemistä ja pahimmillaan pidempiä tuotantoaikoja, ylitöitä ja lisääntyneitä jäte-kustannuksia. Tuotannon jälkeen havaittuna ne aiheuttavat takuukustannuksia, alennuk-sia, huonoa mainetta sekä menetettyä myyntiä. Huono laatu vaikuttaa aina asiakastyy-tyväisyyteen ja sitä kautta tulokseen.

Saumattujen rasioiden aukeaminen tuotantolinjalla, seuraavissa käsittelyissä tai kulje-tuksen aikana jälleenmyyjälle voi aiheuttaa jopa kokonaisten erien hylkäämistä kontami-naation takia, ja tällaiset virheet herättävät aina kysymyksen muiden saumojen laadusta etenkin, jos sauman vahvuuksista ei ole dokumentoituja mittauksia. Tuotantolaitoksella on aikaisemmin pystytty tutkimaan ainoastaan, vuotaako pakkaus vai ei, mutta tarvetta olisi sellaiselle sopivalle sauman vahvuuden mittaamismenetelmälle, jota voitaisiin jat-kossa käyttää tuotantolaitoksella osana sisäistä laadunvarmistusta sekä alustapakkaus-koneen ajoparametrien optimointia. Menetelmää voitaisiin mahdollisesti myös käyttää pakkaus-koneen puhdistustarpeen indikaattorina. Toimivaa menetelmää voitaisiin mah-dollisesti soveltaa tuotantolaitoksella myös muille rasioille.

2 Elintarvikepakkaus

2.1 Pakkauksen merkitys

Pakkauksen merkitys elintarvikkeelle ja kuluttajan turvallisuudelle on olennainen. Pakkauksella varmistetaan tuotteen ominaisuuksien, hygienian ja mikrobiologisen laadun säilyminen koko jakeluketjun läpi tuotannosta kuluttajan pöytään. Pakkauksen tarkoitus on säilyttää siihen pakatun tuotteen ominaisuudet suojaamalla tuotetta fysikaalisilta, kemiallisilta ja biologisilta rasituksilta. Fysikaalisia rasituksia ovat esimerkiksi erilaiset iskut, puristuminen ja värinä, joita tuotteeseen kohdistuu etenkin kuljetuksen ja käsittelyn aikana sekä esimerkiksi kosteus ja pöly. Mikrobiologisia muutoksia elintarvikkeisiin aiheuttaa kemiallisista rasituksista mm. valo ja happi. Pakkaus suojaa elintarviketta myös tuhoeläimiltä sekä ympäristön hajujen ja makujen vaikutuksilta. Ehjä pakkaus varmistaa, että tuotteeseen ei ole jälkikäteen päässyt mitään sinne kuulumatonta ja että sitä on turvallista käyttää. [1, s. 11–12]. –

Pakkauksen tarkoitus on suojaamisen lisäksi kertoa tuotteesta, sen käytöstä, säilymisestä ja säilyttämisestä. Pakkaus on myös avuksi tuotteiden markkinoinnissa ja pakkaustyylillä luodaan mielikuva itse tuotteesta ja sen sisällöstä. Pakkauksen tehtävä on myös kommunikoida kuluttajan kanssa symbolien, tuotemerkkien, ohjeiden ja varoitusten kautta ja tarjota tietoa ravintosisällöstä ja ainesosista. Pakkauksen on tarkoitus tehdä itse sisällön käyttö mahdollisimman helpoksi sekä mahdollistaa ja tehostaa jakelua, tuotantoa ja säilytystä. Hyvä pakkaus myös säästää ympäristöä silloin, kun pakkaus suojaa tuotetta mahdollisimman vähällä pakkaamisella. Pakkauksen tarkoitus on suojata myös ympäristöä, muita tuotteita, kalusteita, kuljetusyksiköitä ja laitteita itse tuotteelta. [1, s. 11–12].

2.2 Pakkausmateriaalin valinta

Elintarvikkeissa käytettäviä pakkausmateriaaleja ovat muun muassa erilaiset muovit, lasi, kuitupohjaiset materiaalit sekä metalleista alumiini ja teräs. Pakkausmateriaalin valintaan vaikuttaa olennaisesti materiaalin suojaamisominaisuudet. Pakkausmateriaalille ja pakkaukselle vaatimuksia asettavat pakattava tuote, lainsäädäntö, kuljetusmatkat ja -tavat, kauppa, kuluttaja sekä ympäristö. Pakkausmateriaali on valittava sen rankimman käsittelyvaiheen mukaisesti ja sen tulee suojaamisominaisuuksien lisäksi soveltua

käytettävälle pakkauskoneelle. Pakkausmateriaalilta edellytetään usein saumautuvuutta sekä tiiveyttä eli barrieeria. [2].

Laatua ja säilyvyyttä heikentäviä tekijöitä voidaan hidastaa huomattavasti valitsemalla pakkausmateriaali ja -tapa oikein. Niitä valittaessa on tunnettava elintarvikkeen ominaisuudet ja siinä tapahtuvat laatumuutokset varastoinnin ja lämpötilan vaikutuksesta. Useimmille elintarvikkeille happi on haitallista jo yli 1 %:n pitoisuudessa aiheuttaen rasvan ja väriaineiden hapettumista, mikrobien kasvua, virrehajuja ja -makuja (eltaantumisen) ja aromin väljähtymistä. Elintarvikkeita voidaan suojata hapelta happea läpäisemättömillä pakkausmateriaaleilla, onnistuneella tiiviillä saumauksella sekä suojakaasu- tai vakuumpakkaamisella. Monet elintarvikkeet, kuten rasvat, öljyt, maitotuotteet, hedelmämehut, kahvi ja peruna, ovat myös herkkiä UV-valolle. Valo voi aiheuttaa vitamiinitappioita, värien muutosta tai rasvojen härskiintymistä ja kiihdyttää hapettumista. Valon aiheuttamia haittoja voidaan ehkäistä valitsemalla UV-valoa läpäisemätön pakkausmateriaali. [1, s. 53–55].

Metallipakkaukset ovat valo-, kosteus-, rasva- ja kaasutiiviitä, ne kestävät suurtakin mekaanista rasitusta sekä korkeita ja matalia lämpötiloja ja niitä on helppo käsitellä ja kierittää. Lasipakkaukset ovat kosteus-, kaasu- ja hajutiiviitä. Ne ovat kovia, hygieenisia, muotoiltavia ja värjättäviä sekä helppoja puhdistaa ja steriloida. Ne eivät kuitenkaan kestä suuria ja nopeita lämpötilan vaihteluja, lasilla on huono valonsuoja (värjäämällä voidaan suodattaa UV-valoa) ja ne särkyvät helposti. Kuitupohjaiset pakkausmateriaalit ovat helposti käsiteltäviä, lujia ja hengittäviä. Paperipussilla on usein riittävä valonsuoja, mutta pinnoittamaton paperi ei suojaa kaasuilta, rasvalta, vedeltä eikä aromien siirtymiseltä. Taivekartongin etuja ovat jäykkyys, painatusmahdollisuudet, koneajettavuus ja tukevuus. Sellukartonki kestää kosteutta ja repäisyjä paremmin kuin taivekartonki, mutta ei ole yhtä jäykkää. Kemihierrekartonki säilyttää hajun ja maun taivekartonkia paremmin. [2].

Eri muovilaaduilla on paljon eri suojaamis- ja muotoiluominaisuuksia, ja siksi niitä käytetäänkin usein. Muovista valmistetaan mm. makeispusseja, pulloja, pikareita, kalvoja sekä pakkauksia lihoille, juustoille ja leikkeleille. Liha tulisi pakata happea läpäisevään pakkaukseen, joka lihan kuivumisen estämiseksi ei kuitenkaan läpäisisi vesihöyryä. Juustoille happi aiheuttaa homehtumista ja rasvojen hapettumista, joten niitä tulee suojata hapelta. Juuston pakkauksen pitäisi olla vesihöyrytiivis, jotta juusto ei kuivu, ja sen pitäisi läpäistä sopivasti hiilidioksidia, koska jotkut juustot tuottavat kypsyessään

hiilidioksidia. Muovi- ja paperipakkausten läpi tapahtuu aina jonkinlaista ainevirtausta, esim. PE-muovi estää hyvin vesihöyryn, mutta ei hapen läpäisevyyttä. Usein käytetäänkin erilaisia yhdistelmäateriaaleja parantamaan pakkauksen ominaisuuksia. [1, s. 56–57; 2].

2.3 Lainsäädäntö

EU:n elintarvikkeita koskevaa lainsäädäntöä täsmentämään on säädetty Suomessa kansallinen elintarvikelaki, jonka mukaan

Elintarvikkeiden tulee olla kemialliselta, fysikaaliselta ja mikrobiologiselta sekä terveydelliseltä laadultaan, koostumukseltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne ovat ihmisravinnoksi soveltuvia, eivät aiheuta vaaraa ihmisen terveydelle eivätkä johda kuluttajaa harhaan. [3].

Elintarvikepakkauksen perustehtävä on varmistaa tämä. Elintarvikkeen ominaisuuksien mukaan eri elintarvikkeiden pakkauksille on asetettu erilaisia suojaamisvaatimuksia ja teknisiä vaatimuksia. Myös tuoteryhmien sisällä vaatimukset vaihtelevat ja esimerkiksi jokaisella juustotyyppillä on omat vaatimuksensa. [1, s. 57]. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa N:o 1169/2011 elintarviketietojen antamisesta kuluttajalle esitetään elintarvikkeita koskevat yleiset pakkausmerkintävaatimukset. Pakollisten merkintöjen lisäksi siinä säädetään kielivaatimuksista, luettavuudesta, havaittavuudesta ja oikeellisuudesta. Olemassa on myös erityislainsäädäntöjä tuotekohtaisten lisätietojen antamisesta. [5].

Elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista säädetään Euroopan neuvoston ja parlamentin asetuksessa N:o 1935/2004. Tämä EY:n kehysasetus on säädöksistä tärkein ja laajin ja sen tarkoituksena on luoda perusta kuluttajien etujen ja ihmisten terveyden korkeatasoiselle suojelulle. Asetuksen mukaan kaikkien elintarvikkeiden kanssa suoraan tai välillisesti kosketukseen joutuvat materiaalit on valmistettava sellaisiksi, että niistä ei ennakoitavissa käyttöolosuhteissa siirry ainesosia elintarvikkeeseen sellaisia määriä, jotka voivat vaarantaa ihmisten terveyden tai aiheuttaa sopimattomia muutoksia elintarvikkeen koostumukseen tai aistinvaraisiin ominaisuuksiin. Asetus koskee myös sellaisia materiaaleja, joiden voidaan odottaa joutuvan kosketukseen tai niistä voidaan olettaa siirtyvän ainesosia elintarvikkeeseen. [1, s. 51, 255; 6, 3. §].

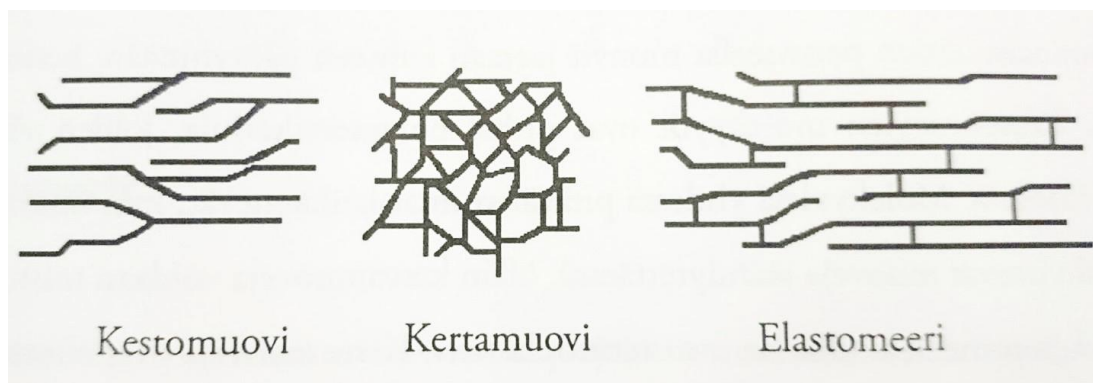
3 Muovi pakkausmateriaalina

3.1 Yleistä polymeereistä

Polymeerit ovat useiden kymmenien yhteen liittyneiden pienien rakenneyksiköiden eli monomeerien ketjuja. Polymeerit voidaan jaotella alkuperän, rakenteen, monomeerien liittymistavan, ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen perusteella. Useimmat polymeerit koostuvat hiili-, vety-, typpi- tai happiatomeista ja ne voidaan jaotella alkuperänsä mukaan orgaanisiin, puoliorgaanisiin ja epäorgaanisiin polymeereihin. Luonnossa esiintyviä orgaanisia polymeerejä ovat esimerkiksi tärkkelys, selluloosa ja ligniini. Orgaanisissa polymeereissä vähintään polymeerin pääketju sisältää hiiliatomeja, kun taas epäorgaaniset polymeeriketjut eivät sisällä hiiliatomeja ollenkaan. Epäorgaanisia polymeerejä ovat esimerkiksi polyeteeni ja polypropeeni, ja ne valmistetaan kemian teollisuuden tuottamista monomeereistä. Puoliorgaaniset polymeerit valmistetaan orgaanisista polymeereistä kemiallisesti, ja niiden sivuryhmät voivat sisältää hiiliatomeja pääketjun ollessa epäorgaanista ainetta. [1, s. 86; 7, s. 22–25].

Polymeerit jaetaan homo- ja kopolymeereihin riippuen siitä, kuinka monesta monomeerilajista polymeeri muodostuu. Kopolymeerit muodostuvat useista eri monomeerilajeista, kun homopolymeerit sisältävät vain yhtä monomeeria. Polymeerit valmistetaan joko additio- tai kondensaatiopolymeroinnilla. Additiopolymeroinnissa monomeerin kaksoissidos avautuu ja muodostuu sidos toisen monomeerin kanssa. Kondensaatiopolymeroinnissa monomeerin funktionaalinen ryhmä reagoi toisen monomeerin kanssa ja sivutuotteena syntyy esimerkiksi vettä tai alkoholia. [1, s. 86].

Rakenteensa perusteella polymeerit jaetaan kestonuoveihin, kertamuveihin ja elastomeereihin (kuva 1). Polymeeriketjujen välille muodostuvat sidokset määrittelevät polymeerien muovausominaisuudet. Kestomuovit koostuvat pitkistä polymeeriketjuista, joiden välillä ei ole kemiallisia sidoksia, ja siksi niitä voidaan toistuvasti lämmittää ja muovata uudelleen. Elintarvikepakkauksissa yleisimpiä muoveja ovat kestonuovit, esimerkiksi PE, PP ja PA.



Kuva 1. Kestomuovin, kertamuovin ja elastomeerin polymeerirakenteet [7, s. 28].

Kertamuoveja ei voida muovata uudelleen lämmön avulla, sillä pääraaka-aineena olevan hartsin kovettumisreaktiossa polymeeriketjut silloittuvat eli liittyvät toisiinsa kemiallisin sidoksin vahvaksi verkkomaiseksi rakenteeksi. Kertamuovit ovat pakkauksissa kestopuoveja harvinaisempia. [1, s. 86; 7, s. 27]. Elastomeerit ovat rakenteeltaan jotain kesto- ja kertamuovien väliltä. Ne ovat kumimaisia ja vetäytyvät nopeasti alkuperäiseen tilaansa venyttämisen jälkeen. Elastomeerit ovat lineaarisia, mutta polymeeriketjut liittyvät toisiinsa kemiallisin sidoksin tai fysikaalisilla sekundäärisidoksilla (esim. rikkisillat), eikä niitä siksi voi muotoilla uudelleen. [7, s. 27–28].

Polymeerien ominaisuudet perustuvat korkeaan polymeroitumisasteeseen (DP), joka kuvaa yhden polymeeriketjun sisältämien monomeerien määrää. Polymeroitumisasteen kasvaessa polymeeri muuttuu nestemäisestä kovaksi ja sen mekaaninen kestävyys kasvaa. Toisaalta mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa myös polymeerin sisältämien molekyylien kokoerot eli moolimassajakauma. Suuret molekyylit lujittavat polymeeriä, mutta vaikeuttavat sen muovattavuutta ja pienet molekyylit vaikuttavat päinvastoin. [1, s. 87; 7, s. 33]. Polymeerien fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttaa myös niiden kiteisyysaste, ja niiden etuna muihin materiaaleihin verrattuna on matalahko työstölämpötila. Pitkät ja säännölliset polymeeriketjut pystyvät kiteytymään kristalliteiksi, jotka hajoavat polymeerin sulamispisteessä, mutta alkavat muodostua uudelleen pienemmissä lämpötiloissa. Amorfisissa polymeereissä kiteisyyttä ei ole tai on hyvin vähän. Amorfinen polymeeri on kuumana nestemäistä, ja jäähdytettäessä se muuttuu ensin kumimaiseksi ja lopulta kullekin polymeerille ominaisessa lasiutumislämpötilassa kovaksi lasimaiseksi aineeksi. Kiteisyys määrittää polymeerien käyttölämpötilan siten, että kiteisten polymeerien käyttölämpötila on lasiutumislämpötilan yläpuolella, mutta sulamispisteen alapuolella. Kiteiset polymeerit ovat yleensä lujia ja sitkeitä, mutta lämpötilan laskiessa lasiutumislämpötilan

alapuolelle ne muuttuvat hauraiksi. Amorfisten polymeerien käyttölämpötilat ovat lasiutumislämpötilan alapuolella. Ne ovat lujia, mutta joskus hauraita. [1, s. 87; 7, s. 47–53].

Pakkaussuunnittelussa yksi merkittävimmistä tekijöistä on muovien läpäisevyys- eli barriereiominaisuudet. Niillä tarkoitetaan muovin kykyä läpäistä muun muassa vesihöyryä, rasvoja, valoa, liuotteita ja kaasuja. Barriereiominaisuudet määräytyvät ensisijaisesti polymeerien kemiallisesta rakenteesta. [2; 9]. Jotta polymeeri toimisi barrieerina, sen polymeeriketjujen välillä on oltava sidosvoimia ja barriereiominaisuudet paranevat, mitä tiiviimmin polymeeriketjut ovat pakkautuneet. Läpäisevyyteen vaikuttaa kemiallisen rakenteen, kiteisyyden ja orientoinnin lisäksi muovin paksuus, tiheys ja sen lasiutumislämpötila. Lasiutumislämpötilan alapuolella aineiden kulkeutuminen polymeerin läpi muuttuu vaikeammaksi. Täydellistä läpäisemättömyyttä tavoitellaan harvoin ja haluttuihin läpäisevyysominaisuuksiin ja -tasoihin vaikuttaa elintarvikkeen vaatimukset. Aineet voivat kulkeutua polymeerimatriisiin suhteen eri tavoilla, ja usein pakkaukselta edellytetään myös sellaista barrieeria, ettei itse pakkaus heikkene esimerkiksi elintarvikkeesta tai ympäristöstä imeytyvältä kosteudelta. [2].

Tärkeimpiä barriereiominaisuuksia ovat vesihöyryn ja hapen läpäisevyys, sillä ne vaikuttavat olennaisesti useisiin tuotteisiin ja harvoilla materiaaleilla on niitä molempia. Hydrofobiset polymeerit, kuten polyeteeni ja polypropeeni, toimivat hyvinä vesihöyryesteinä, mutta läpäisevät happea. Hydrofiiliset polymeerit taas suojaavat hapelta, mutta heikenevät kosteuden vaikutuksesta menettäen samalla hapen suojaamiskykyään. Polymeerit soveltuvat harvoin pakkausmateriaaleiksi sellaisenaan, ja yleensä joudutaankin turvautumaan useammista polymeereistä valmistettuihin yhdistelmämaterialiin haluttujen barriereiominaisuuksien saavuttamiseksi. [2].

Erilaisilla lisäaineilla voidaan parantaa muovien ominaisuuksia ja kestävyyttä sekä helpottaa muovien valmistusta. EY:n elintarvikelainsäädännössä määritellään tarkasti, mitä lisäaineita elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin tarkoitettujen materiaalien valmistuksessa saa käyttää [1, s. 85]. Vanhenemisenestoaineita eli stabilisaattoreita käytetään estämään monomeerien liian aikaista polymeroitumista sekä polymeerien hajoamista korkeissa valmistuslämpötiloissa. Niillä vähennetään myös UV-valon, hapen ja otsonin haittavaikutuksia. Hapettumisenestoaineilla voidaan estää polymeerimolekyylien hajoamista hapen vaikutuksesta. Polymeerien muokattavuutta voidaan parantaa muovien pehmittimillä, jotka ovat useimmiten orgaanisten happojen estereitä. Liukuaineilla, kuten silikonilla, parannetaan muovimassan muovattavuutta sekä estetään massan

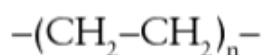
tarttuminen koneen pintoihin. Antistaattisilla aineilla ehkäistään muovin pölyyntymistä ja palonestoaineilla liekin syttymistä ja etenemistä. [1, s. 90–91; 7, s.118–121].

Värvämisellä ja täyteaineilla vaikutetaan muovien optisiin ominaisuuksiin: ulkonäköön ja valon läpäisevyyteen. Värvämiseen käytetään polymeeriin tasaisesti liukenevia orgaanisia väriaineita tai epäorgaanisia/orgaanisia pigmenttejä. Väreinä käytetään muun muassa atsoyhdisteitä, antrakinoneja sekä rauta- ja titaanioksideoja. Täyteaineilla kuten talkilla, kaoliinilla ja selluloosalla voidaan lisätä muovin lujuutta, alentaa sen hintaa, vähentää kutistumista valmistuksen aikana sekä alentaa lämpölaajenemista. [7, s. 122–123].

3.2 Muovien ominaisuudet pakkauksen kannalta

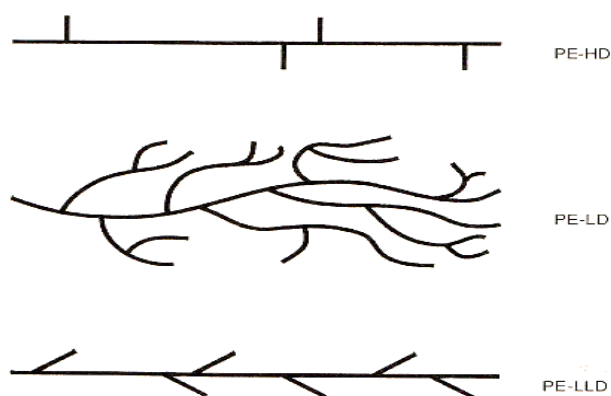
3.2.1 Polyeteeni (PE)

Polyeteeni (PE) (kuva 2) on termoplastinen polymeeri ja kuuluu polyolefiineihin. Sen raaka-ainetta eteeniä saadaan teollisuusbensiinin krakkaamisvaiheen jälkeen monivaiheisesta tislausprosessista, jossa erotetaan eteeni, propeeni, butadieeni ja pyrolyysibensiini. [7, s. 165].



Kuva 2. Polyeteenin rakenne [8, s. 111].

Polyeteeni on vahamaista ja siitä valmistetut ohuet kalvot läpinäkyviä. Se toimii hyvänä sähköneristeenä ja kestää hyvin vettä, suolaliuoksia, alkaleja ja mietoja happoja, mutta vahvat hapot reagoivat sen kanssa. Polyeteeniä on helppo työstää, eikä se liukene huoneenlämmössä mihinkään liuottimeen. Polyeteenilaadut voidaan jakaa ryhmiin valmistusmenetelmän ja ominaisuuksien mukaan. Rakenteeltaan ne ovat kaikki suoraketjuisia, mutta valmistusmenetelmästä riippuen voivat sisältää enemmän tai vähemmän eri pituisia haaroja (kuva 3). [7, s. 165].



Kuva 3. Eri polyeteenilaatujen ketjujen haaroittuneisuus [10].

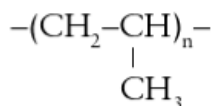
PE-LD eli pienitiheyksinen polyeteeni valmistetaan korkeapainemenetelmällä. Siinä reaktio käynnistetään radikaali-initiaattoreilla happea tai peroksidge käyttäen. Tällaisessa reaktiossa syntyy runsaasti eripituisia sivuketjuja. Lyhyiden haarojen takia PE-LD:n kiteisyys, tiheys ja sulamispiste ovat alhaisempia kuin lineaarisen polyeteenin, mutta pitkät sivuhaarat ja molekyylin leveys helpottavat polymeerin työstöä. PE-LD on pehmeää ja läpinäkyvää, mutta lineaarista polyeteeniä heikompa. [1, s. 91; 7, s. 165–166; 8, s. 111]. PE-LD kestää hyvin kosteutta ja saumautuu helposti, ja siksi sitä käytetään pääosin kalvomuovina sekä esimerkiksi nesteiden pakkaamiseen tarkoitetun kartongin päällystämiseen. PE-LD ei kestä yli 100 asteen lämpötiloja, rasvoja eikä estä kaasujen läpäisyä. [2].

PE-HD eli korkeatiheyksinen polyeteeni on kiteisyytensä takia kovaa ja jäykkää. Sitä käytetään erilaisiin muottiinpuhallus- ja ruiskuvalutuotteisiin, kuten pulloihin ja vuokiin, mutta myös esimerkiksi hedelmäpusseihin. [1, s. 92–93; 8, s. 104]. PE-HD valmistetaan matalassa lämpötilassa ja paineessa erilaisilla katalysaattoreilla ja prosesseilla, joista riippuen muoville saadaan hieman toisistaan poikkeavia ominaisuuksia. Matalatiheyksiseen polyeteenin verrattuna PE-HD kestää paremmin rasvoja ja kuumuutta, mutta saumautuu huonommin [2]. PE-LLD eli lineaarinen pienitiheyksinen polyeteeni on eteenin ja jonkin 1-olefiinin kopolymeeri, joka valmistetaan samalla tavalla kuin PE-HD, mutta ominaisuuksiltaan se muistuttaa PE-LD:tä [7, s. 166–169].

3.2.2 Polypropeeni (PP)

Polypropeeni (PP) (kuva 4) kuuluu PE:n lailla polyolefiineihin ja sitä saadaan rinnakkais- tuotteena eteenin valmistuksessa sekä öljynjalostuksesta. Polypropeenilla voi olla kolme eri avaruusrakennemuotoa: isotaktinen, ataktinen ja syndiotaktinen. Suurin osa

kaupallisesta polypropeenista on isotaktista muotoa ja muutama prosentti ataktista. Isotaktinen ja syndiotaktinen muoto ovat kiteytyviä ja ataktinen muoto amorfista. Polypropeenin mekaaniset ominaisuudet riippuvat siitä, kuinka paljon mitäkin rakennetta se sisältää. [7, s. 176–177].

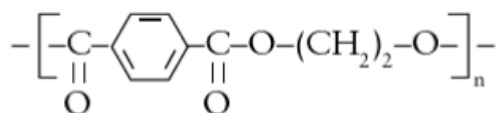


Kuva 4. Polypropeenin rakenne [8, s. 114].

PP muistuttaa ominaisuuksiltaan PE-HD:ta ja onkin sen pahin kilpailija. PP on polyeteeniä kovempaa ja jäykempää, mutta toisaalta sen iskulujuus on heikompi. Sillä on samanlainen kaasujen läpäisevyys kuin PE-HD:lla, mutta se kestää paremmin rasvoja ja kemikaaleja. [1, s. 93]. Polypropeeni säröilee jännityksestä PE:tä vähemmän, mutta ei kestä yhtä hyvin UV-valoa ja happea. Polypropeeniin onkin aina lisättävä stabilisaattoreita. [7, s. 178]. PP kestää kovempia lämpötiloja kuin polyeteenit, mutta on murenevaa miinusasteilla [2]. PP:stä valmistetaan muun muassa puhallettuja pulloja ja kanistereita, jogurttipurkkeja, syvävedettyjä vuokia ja erittäin monikäyttöisiä biaksiaalisesti orientoituja kalvoja (BOPP) [1, s. 94].

3.2.3 Polyeteenitereftalaatti (PET)

Polyeteenitereftalaatti (PET) (kuva 5) on polyesteri, joka syntyy tereftaalihapon ja eteeniglykolin polymeroitumisreaktiosta. Tereftaalihappo esteröidään aluksi metanolilla ja tätä esteriä käytetään polymeerien valmistukseen. [7, s. 207].



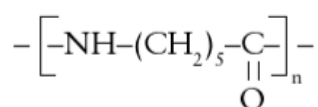
Kuva 5. Polyeteenitereftalaatin rakenne [8, s. 117].

PET on kirkasta, kevyttä, kovaa ja kestää erinomaisesti kemikaaleja. Sen käyttölämpötila-alue on -60 – 220 °C ja se estää hyvin hiilidioksidin läpäisyä. Tunnetuin PET:n käyttöalue on virvoitusjuomapullot, jotka valmistetaan puhallus-muovaustekniikalla siten, että muovista muovataan aihio, joka puhalletaan lopulliseen muotoon juuri ennen pullotusta.

[2]. PET:stä valmistetaan myös erittäin vahvoja pakkauskalvoja suulakepuristamalla, jossa lämmintä kalvoa venytetään pitkittäis- ja poikittaissuunnassa [7, s. 208]. Suojakaasupakkauskalvoissa PET kilpailee polyamidin kanssa. [1, s. 97]. PET:iä ja PE:tä yhdistetään usein kalvoissa kestävyys- ja saumautuvuuden parantamiseksi [2].

3.2.4 Polyamidit (PA)

Polyamidit (PA) eli nylonit ovat suuri määrä erilaisia muoveja, jotka erotellaan toisistaan nimen perään merkityllä numerolla, joka kuvaa toistuvan jakson hiiliatomien määrää (kuva 6). Polyamidit valmistetaan dikarboksylihaposta ja jostain kaksi amiiniryhmää sisältävästä yhdisteestä tai sellaisesta yhdisteestä, joka sisältää sekä amiini- että karboksyyliiryhmän. Eri molekyylien amiini- ja karboksyyliiryhmien reagoiessa syntyy amidi-ryhmiä, jotka liittävät lähtöaineet polymeereiksi. [7 s. 211–212].



Kuva 6. PA66:n rakenne [8, s. 119].

PA:t ovat sitkeitä, hyvin kiteytyviä ja sulamislämpötilat ovat korkeita. Polyamidiketjujen välillä on vetysidoksia, joiden ansiosta polyamidit pysyvät sitkeinä lähes sulamislämpötilaan asti. Polyamideista käytetyimmät osakiteiset PA6 ja PA66 ovat kuivina kovia ja hauraita, mutta muutaman prosentin kosteus vaikuttaa niihin pehmentävästi. [7, s. 213–214]. Polyamidit kestävät hyvin iskuja ja kemikaaleja, ne ovat kirkkaita ja hyviä maku- ja hajubarriereita sekä kosteuspitoisuudestaan riippuen suojaavat hyvin hapelta. Polyamidit kestävät hyvin lämpöä, ja niitä käytetäänkin usein kuumennettavien elintarvikkeiden pakkauksissa. Muita käyttökohteita ovat etenkin erilaiset joustavat pakkaukset sekä suojakaasupakkauskalvot. Polyamidin ominaisuuksia parannellaan yleensä yhdistämällä sitä muiden polymeerien, kuten PE:n kanssa. [1, s. 98; 2; 7, s. 214].

4 Annossalaattipakkaukset

4.1 Annossalaatit ja pakkaustyypit

Annossalaatti on kerta-annos, joka voidaan syödä helposti sellaisenaan mukana tulevalla muovihaarukalla. Kuluttajamarkkinoilla on tuoreita salaattiannoksia, jotka on pakattu kirkkaisiin muovikalvolla suljettuihin muovisiin rasioihin tai joustopakkausiiin. Tuotemerkkejä ovat muun muassa Makula, Apetit, Hetki, Saarioinen, Rainbow ja Pirkka. Annossalaattirasiat ovat usein PET:iä ja niiden kannet monikerroskalvoja (esim. PA/PE/PET). Rasioihin pakattujen annossalaattien säilyvyysaika on noin viikon ja valittavana on useita eri makuvaihtoehtoja, kuten esimerkiksi kana-caesar-, vuohenjuustosekä savulohisalaatti (kuva 7). [11; 12; 13; 14]. Joustopakkauksella tarkoitetaan joustavaa, pehmeää pakkausta, kuten erilaisia pusseja. Muovikalvoja käytetään joustopakkausissa etenkin kosteusbarrierin ja hyvän saumautuvuuden takia, ja elintarvikekäytössä useimmat joustopakkaukset ovat myös monikerroksisia (esim. PE/PP). [1, s. 53, 166].



Kuva 7. Makula-savulohisalaatti [13].

Tuoreet annossalaatit vaativat pakkaukselta etenkin happibarrieria. Tuotteiden halutaan säilyttävän alkuperäiset ominaisuutensa ja happi aiheuttaa annossalaateissa etenkin salaatin punertumista, mutta mahdollisesti myös esimerkiksi rasvojen hapettumista

sekä mikrobien kasvua. Hapen vaikutuksen estämiseksi annossalaatit pakataan poikkeuksetta suojakaasuun, mikä tietysti edellyttää materiaailta hyvää kaasubarrieeria. Myös vakuumpakkaamisella happi saadaan poistettua pakkauksesta, mutta puristumisen takia se ei sovi salaatile. Annossalaatit edellyttävät pakkaukselta lisäksi mekaanista kestävyyttä ja onnistunutta tiivistä saumausta, sillä mekaaniset vauriot kuten halkeamat ja reiät tai saumauksen vuotaminen mitätöivät hyvänkin barrieerimateriaalin hyödyt. Mekaanisilta vaurioilta ja siitä mahdollisesti seuraavilta aistinvaraisilta muutoksilta suojaaminen onnistuu parhaiten jäykällä rasiamaaisella pakkauksella. [1, s. 53, 55–58].

Suojakaasun ja hyvän barrieerimateriaalin lisäksi annossalaattien säilyvyyden kannalta on olennaista erotella eri komponentit, kuten liha/kala, juusto, kananmuna, kastikkeet ja kuivat aineet toisistaan, jotta ne eivät pilaantuisi toistensa vaikutuksesta. Lisäksi kuivia elintarvikekomponentteja, kuten krutonkeja, käytettäessä niiden säilyvyyden kannalta on oleellista estää aromi- ja rakennemuutoksia aiheuttavat kosteusmuutokset. Myös kuivien aineiden pääsy kosketuksiin muiden aineiden kanssa tai liiallinen kosteuden haihtuminen pakkauksesta aiheuttaa esimerkiksi juustojen ja vihannesten kuivumista, rakennemuutoksia ja painohäviötä. Joustopakkausissa ainesosien suojaaminen ja erottelu hoidetaan pakkaamalla eri komponentit kuten juusto, kastike ja krutongit erillisiin pieniin annospusseihin. Joustopakkausissa ei käytetä lihaa, kananmunaa tai muita herkästi pilaantuvia ainesosia, sillä aineiden suojaaminen toisiltaan sekä mekaaniselta rasitukselta on hankalampaa. [1, s. 55]. Salaattirasioissa ainesosat erotellaan muovisen lokerikon eli insertin avulla (kuva 8).



Kuva 8. Insertti

Kastikkeet erotellaan joustopakkausten lailla käyttämällä valmiita annospusseja, sillä näin kastikkeen lisääminen salaatin joukkoon on kuluttajalle helpompaa eikä kastiketta pääse valumaan insertin reunojen yli.

4.2 Muovirasiat

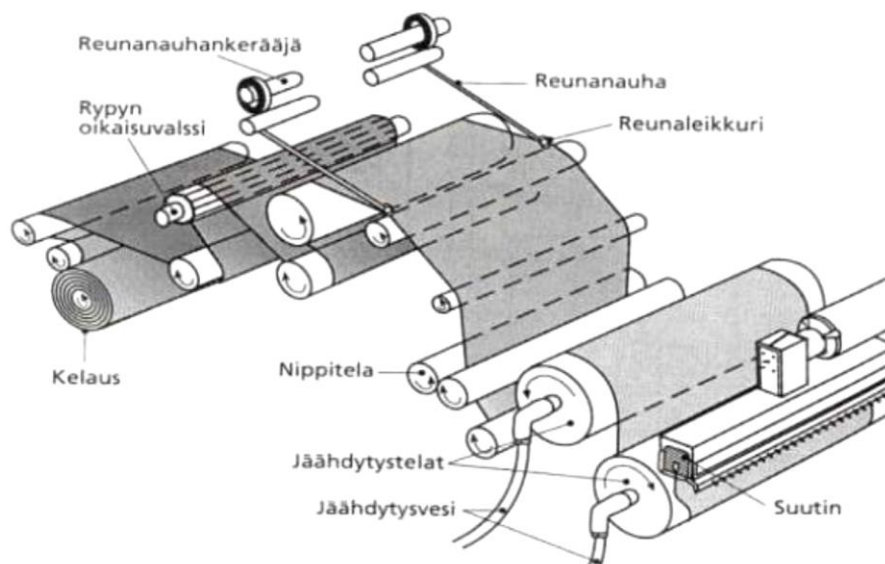
Salaattirasioina käytetään lämpömuovattuja muovirasioita, jotka ovat taloudellisia ja tarjoavat kätevyyttä käyttäjälle. Rasiat voidaan muotoilla moniin eri muotoihin ja kokoihin, ja niiden reunat voivat olla hyvinkin ohuet. Lämpömuotoiluilla muovirasioilla on suuria etuja muihin jäykkiin ja joustaviin astioihin verrattuna; ne ovat kevyitä, stabiileja sekä suojaavia ja niitä voidaan käsitellä ilman pelkoa hajoamisesta. Rasioissa käytetyimpiä muoveja ovat PP ja C-PET, joka kestää koviakin lämpötiloja toisin kuin jo 63 asteessa pehmenevä amorfinen PET. [15, s. 340]. Kirkkaina materiaaleina ne myös tuovat tuotetta paremmin esille. Rasioita voidaan valmistaa ruiskuvalu- tai syvävetomenetelmällä. [1, s. 107].

Ruiskuvalussa muoviraaka-aine sulatetaan koneen ruuvimaisessa ekstruuder- eli suulakeosassa. Sulatusvaiheessa lisätään myös lisäaineet tai käytetään valmista masterbatchia eli polymeerin ja lisä- tai väriaineen suhteen väkeväksi tehtyä seosta. Yleisimpiä menetelmiä on ruuviplastisointi, jossa plastisointisylinterin sisällä oleva ruuvi pyöriesään sulattaa muovin ja syöttää sen ruiskutusmäntänä toimivalle ruuville. Sulanut muovimassa ruiskutetaan muottiin suurella paineella ja jäähdytetään, kun muotti on täynnä. Jäähdytymisen jälkeen muotti avataan ja valmis rasia työnnetään ulos. Ruiskuvalussa käytettävät muotit ovat kaksipuolisia siten, että muovimassa jää muotin puoliskojen väliseen tilaan, joka säätelee rasian reunojen paksuuden. Seinämät ovat yleensä tasapaksuja, toisin kuin muovikalvosta syvävedetyillä rasioilla, joiden nurkat ovat yleensä ohuempia. Ruiskuvalumenetelmällä on mahdollista tehdä monimutkaisiakin muotoja ja painatuksia. Valmiin tuotteen laatu riippuu oleellisesti muotin kunnosta, sillä muotin pintavirheet painautuvat myös tuotteeseen. Ruiskuvalutetut rasiat ovat yleensä syvävedettyjä jäykempiä, ja ne soveltuvat erinomaisesti pakkauslinjoille mittatarkkuutensa ja jäykän rakenteensa vuoksi. Ruiskuvalamalla ei kuitenkaan ole taloudellisesti kannattavaa yhdistellä eri muovilaatuja monikerrosrakenteiksi, vaan rasiat ovat yleensä kokonaan samaa materiaalia. [1, s. 105–107; 16, s. 125].

Syvävetomenetelmässä voidaan käyttää yhtä muovia tai useista eri muovilaaduista koostuvia monikerroksisia rakenteita. Aluksi valmistetaan muovilevy esimerkiksi tasokalvoekstruuderilla (kuva 9). Valmistettu levy lämmitetään syvävetokoneessa materiaalin pehmenemislämpötilaan infrapunälämmittimen avulla ja siirretään muovattavaksi. Levy pakotetaan muottipesiä vasten aluksi mekaanisesti puristamalla ja lopuksi paineilman tai tyhjiön avulla. Rasiat leikataan irti levystä, pinotaan sisäkkäin ja siirretään jatkokäsittelyyn, esimerkiksi painatettavaksi. Leikkausvaiheesta jäljelle jäävä levy palaa takaisin raaka-aineeksi. Yksi usein käytetyistä syvävedettyjen pakkausten valmistusmenetelmistä on form-fill-seal, jossa nimensä mukaisesti samalla koneella pakkaus muotoillaan, täytetään ja suljetaan. Tasaisten suureunojen ansiosta syvävedetyt rasiat sopivat hyvin suljettavaksi lämpösaumautuvalla muovikalvolla. [1, s. 113–114].

4.3 Muovikalvot

Muovikalvoja voidaan valmistaa helposti, edullisesti ja monipuolisesti ns. puhallusmenetelmällä, jossa muoviraaka-aine syötetään suppilon läpi ekstruuderin. Muovi sulatetaan lämmityksen avulla ja ruuvi sekoittaa ja kuljettaa sulan muovin suuttimeen, josta se valuu ketjuna vetotelojen väliin. Pystysuorana jäähdytettävän kalvon leveyttä säädetään jäähdytysilmaa lisäämällä ja puristuksen jälkeen se siirtyy kelauslaitteeseen. Puhallusmenetelmällä valmistetaan suurin osa PE-kalvoista ja ns. koekstruusiotekniikalla voidaan valmistaa monikerroksisia barrieerikalvoja siten, että muovilaadut sulatetaan omissa ekstruudereissaan ja yhdistetään monikerrossuuttimessa. [1, s. 102–103; 7, s. 297]. Puhallusmenetelmän sijaan kalvoa voidaan valmistaa tasokalvona, joka eroaa puhalletusta kalvosta siten, että se jäähdytetään tasokalvokoneessa (kuva 9) vaakatasossa jäähdytystelojen avulla. Kalvon kuroumasta aiheutuvat paksummat reunat leikataan pois koneen reunaleikkureilla. [17, s. 108–109].



Kuva 9. Tasokalvokone [17, s. 108].

Kalvojen valmistuksessa käytetään hyväksi kalvojen orientointia, jolla voidaan saada aikaan huomattaviakin muutoksia kalvon mekaanisissa ominaisuuksissa. Orientoitumiseksi kutsutaan molekyylien järjestäytymistä, kun muovimassaa venytetään. Puhallusmenetelmässä ominaisuuksia voidaan muokata säätämällä kalvon kelausnopeutta ja puhallussuhdetta, jotka määrittävät kalvon orientoitumisen kone- ja poikkisuunnassa. [7, s. 54, 297]. Yleisimpiä orientoituja muovikalvoja ovat PP, PET, PA ja PE-LD. Orientoinnin ansiosta polymeerin kiteisyysaste kasvaa ja muovista saadaan huomattavasti vahvempaa. Kalvosta voidaan täten myös tehdä ohuempaa ja säästetään raaka-aineita. Myös suojaavuusominaisuudet paranevat, mutta toisaalta lämpösaumautuvuus usein heikenee. Tämä voidaan ratkaista päällystämällä kalvo jollain toisella muovilla. [2].

Muovikalvoja voidaan päällystää ekstruusiopäällystämällä ja laminoimalla. Muoviraaka-aine sulatetaan ja sekoitetaan ekstruuderissa, josta se pursotetaan suuttimen läpi päällystettävän alusradan päälle. Muovisula puristetaan kiinni alusrataan jäähdytystelan ja puristustelan muodostamassa ”nipissä”. Puristukseen voidaan yhdistää vielä ylärata, jolloin muovisula jää kiinteiden ratojen väliin ja puhutaan ekstruusiolaminoinnista. Päällystyksessä on mahdollista käyttää myös koekstrudoituja muoviyhdistelmiä ja yksi muovirata on mahdollista päällystää molemmin puolin eri muoveilla. [1, s. 103–105].

Muovikalvon valintaan vaikuttaa kalvon käyttötarkoituksen asettamat barriereeri-, saumautuvuus-, lujuus- ja ulkonäköominaisuudet. PE- tai PP-päällyste antaa muovikalvolle vesihöyrytiiviyyttä ja hyvän lämpösaumautuvuuden. Yleisin ekstruusiomuovi on PE-LD,

mutta esim. PE-HD:tä ja PP:tä käytetään, kun halutaan parempi kaasubarrieeri tai lämmönkestävyys. [1, s. 103–105; 2]. Orientoitu nailon (PA-O) on yksi kestävimmistä ja happitiiveimmistä high-barrier -kalvoista. Suojakaasupakkauskalvoissa yleinen yhdistelmä on PET + PA, missä PET tuo kalvolle barrieeriominaisuuksia ja kirkkautta ja PA kaasuja aromibarrieeria. Tähän voidaan yhdistää myös polyeteeniä saumautuvuuden parantamiseksi ja suojaksi PA:lle, joka ei kestä kosteutta ja rasvoja. [1, s. 166].

Yleinen yhdistelmä valmisruoissa on myös PP + PA, jossa PP toimii PE:n tavoin. PP-O on yleinen laminointikalvo, mutta lämpösaumaukseen tarkoitettuihin kalvoihin soveltuu korkean sulamislämpötilan ansiosta paremmin orientoitu PET. Lämpösaumautuvia kalvoja on saatavana piilautuvina, eli kalvolla saadaan aikaan tiivis sauma, joka on kuitenkin helppo avata. Avautuvuuteen ja saumautuvuuteen vaikuttaa kalvon ulommainen kerros. [1, s.166; 18, s. 245].

5 Rasioiden pakkaaminen

5.1 Pakkausprosessi

5.1.1 Suojakaasupakkaaminen

Annossalaatit pakataan suojakaasuun, sillä se on luonnollinen tapa säilyttää tuotteen laatu ilman lisä- ja säilöntäaineita. Suojakaasupakkaamisessa (MAP, Modified Atmosphere Packaging) salaattirasian kaasukoostumusta muutetaan ilmakehästä poikkeavaksi siten, että rasiaan imetään ensin vakuumi ja suojakaasu syötetään tilalle. Tärkein osa suojakaasua on hiilidioksidi, sillä se hidastaa merkittävästi mikrobien kasvua. Hiilidioksidin teho perustuu siihen, että se liukenee elintarvikkeen sisältämään veteen laskien pH:ta mikrobeille epäsuotuisammaksi ja inhiboiva vaikutus paranee matalissa lämpötiloissa kaasun liukoisuuden kasvaessa. Jos tuote sisältää paljon vettä, hiilidioksidipitoisuus on pidettävä suhteellisen matalana, sillä sen liukeneminen veteen aiheuttaa pakkauksen painumisen kasaan. Liian suuret hiilidioksidipitoisuudet voivat aiheuttaa myös haju- ja makuvirheitä, kun hiilidioksidi reagoi veden kanssa muodostaen hiilihapoa [2].

Typpeä käytetään täytekaasuna estämään hiilidioksidin liukenemisesta johtuvaa pakkauksen kasaan painumista. Typpi on hajuton ja mauton eikä oikeastaan liukene veteen

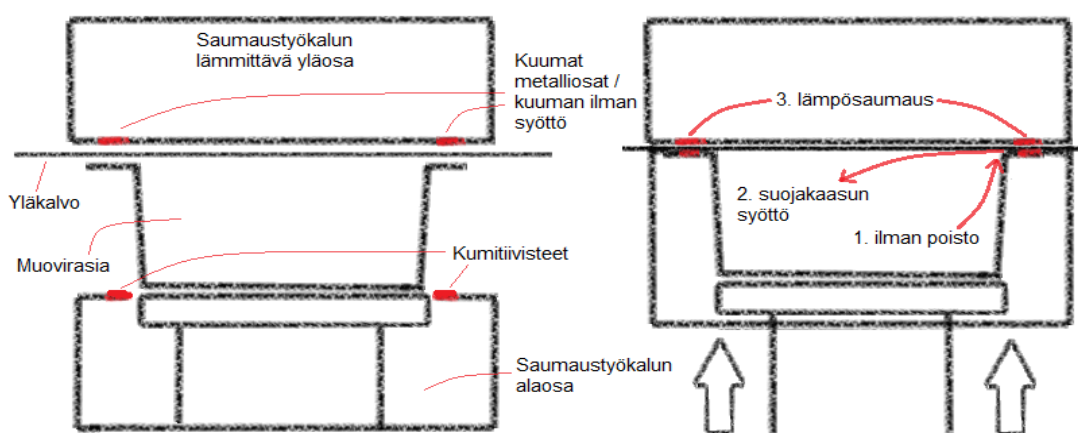
eikä rasvoin. Se ei itsessään estä mikrobien kasvua, mutta sen avulla saadaan syrjäytettyä pakkauksesta happi ja täten vähennettyä hapen aiheuttamia epäsuotuisia muutoksia elintarvikkeissa. Myös happea käytetään osana suojakaasuseoksia, vaikka siitä useimmiten halutaankin eroon. Salaattien pakkaamisessa tarvitaan kuitenkin pieniä happipitoisuuksia, sillä soluhengityksen jatkuminen pakkauksissa on edellytys kasvien säilymiselle. [1, s. 222–223].

Soluhengityksessä kasviin tärkkelyksenä varastoitunut glukoosi muutetaan hapen avulla hiilidioksidiksi ja vesihöyryksi. Reaktiossa vapautuu energiaa, jota juuristaan ja muista osistaan irrotettu salaatti käyttää pysyäkseen hengissä. Kun kaikki glukoosi on kulunut loppuun, energiaa ei synny kasvin elintoimintojen ylläpitämiseen ja pilaantuminen alkaa. Soluhengityksen nopeus määrittelee sen, kuinka nopeasti pilaantumisprosessi alkaa. Kun salaattia pilkotaan, suurempi pinta-ala pääsee kosketuksiin hapen kanssa ja enemmän sokeria vapautuu käyttöön. Molemmat aiheuttavat soluhengityksen nopeutumista, ja suurin osa kasveista reagoi pilkkomiseen puolustusmekanismilla, joka vaatii energiaa ja myös puolestaan nopeuttaa soluhengitystä. Pilkotun salaatin säilymisen kannalta on siis tärkeää hidastaa soluhengitystä mahdollisimman paljon vahingoittamatta kuitenkaan tuotteen laatua. Tämä onnistuu yleensä alhaisella säilytyslämpötilalla, pienellä happipitoisuudella ja lisäämällä hiilidioksidia pakkaukseen. [19; 20]. Liian suuri happipitoisuus näkyy pilkotussa salaatissa nopeasti punertumisena, sillä hajonneiden soluseinien sisään päässyt happi aktivoi kasvissa olevan entsyymien tuottamaan väärän värisiä yhdisteitä [21]. Usein annossalaateilla käytetään kaasuseosta, jossa on 5 % happea, 15 % hiilidioksidia ja 80 % typpeä. Oikea kaasuseos voi nostaa annossalaatin säilyvyyden jopa 8 päivään, kun ilman suojakaasua se tuskin kestäisi edes 4 päivää. [20]. Säilyvyyden optimoimiseksi myös kaasuvolyymien tulee olla riittävän suuri, ja jotta oikea kaasuseos saadaan pysymään pakkauksessa, on saumoista saatava tiiviit [1, s. 224].

5.1.2 Lämpösaumaus

Tavallisin tapa, jolla rasiat suljetaan tiiviisti muovikalvolla, on lämpösaumaus [18, s. 240]. Lämmitettäessä termoplastiset polymeerit sulavat ja jäähdytettäessä muuttuvat takaisin kiinteiksi. Lämpösauma syntyy polymeerimolekyylien sotkeutuessa ja tarttuessa toisiinsa sulamisen johdosta. Sauma on kuin asetelma mikroskooppisen pieniä sitoutuneita kohtia, jotka muodostavat toisiinsa sotkeutuneita molekyylejä. Toisiinsa sotkeutuneiden molekyylien määrä kasvaa lämpötilan kasvaessa, sillä suurempi osa polymeeristä sulaa. Jäähtyessään tämä sotkeutunut rakenne jähmettyy paikoilleen. [22, s. 15, 18].

Yleisin tapa pakata rasioita suojakaasuun on lämpösaumaavilla rasiapakkauskoneilla tai syvävetokoneilla. Rasiapakkauskoneet eroavat syvävetokoneista siten, että niissä käytetään valmiita rasioita. [1, s. 213, 223]. Koska annossalaattirasioiden insertteihin lajitellaan monia eri ainesosia, niiden täyttäminen täytyy yleensä tehdä käsin laadun ja sekoitumattomuuden varmistamiseksi. Siksi sulkemiseen käytetään rasiapakkauskoneita. Pakattavien tuotteiden määrästä riippuen rasiat voidaan pakata pienillä pöytämallisilla saumauskoneilla, joihin asetetaan käsin yksi tai useampi rasia kerrallaan ja kansi painetaan kiinni. Suuremmat määrät suljetaan automaattisilla rasiapakkauskoneilla, joissa täytetyt rasiat matkaavat kuljetushihnaa pitkin suljettavaksi saumausasemaan (kuva 10). [23].



Kuva 10. Pakkauskoneen saumausaseman toiminta

Rasiapakkauskoneiden saumausasemassa rasiaan imetään ensin tyhjiö, minkä jälkeen tilalle syötetään suojakaasu ja muovikalvo saumataan kiinni rasiaan [1, s. 223]. Muovikalvon pinnalle johdetaan tai puhalletaan lämpöä rasian reunojen muotojen mukaisesti. Lämmön lisäksi saumauksessa tarvitaan painetta, joka varmistaa hyvän tarttuvuuden materiaalien välillä. Saumausaseman tiivisteet varmistavat oikean puristuksen ja kaasuvolyymien pakkauksen sisällä. Kun tarpeeksi pitkä aika on kulunut alustavan sauman muodostumiseen, saumaus työkalu avautuu. Sauman lopullinen vahvuus muodostuu materiaalin jäähtyessä, mutta alustavan vahvuuden on oltava riittävä pitämään sauma yhtenäisenä jäähtymisen edetessä. [18, s. 240–241].

5.2 Sauman vahvuuteen vaikuttavat tekijät

Koska tuotteiden hyllyillä on eniten painoarvoa, saumojen pysyminen vahvoina ja ehjinä koko tuotteen elinkaaren ajan on yhtä tärkeää. Toisaalta kuluttajat myös suosivat

pakkauksia, jotka ovat helposti avautuvia eli *piilautuvia* (peel seal). Annossalaateissa käytetään kalvoja, joilla piilautuvan sauman muodostaminen on mahdollista. Piilautuvat saumat syntyvät sellaisella lämpötila-alueella, jossa sauman vahvuus kasvaa lämpötilan noustessa. Haastavaa piilautuvan sauman muodostamisessa on se, että termoplastisilla polymeereillä tämä lämpötila-alue on todella kapea ja liittymiskohdan lämpötilaa pitäisi pystyä kontrolloimaan tarkasti, sillä jo 2–5 °C:n lämpötilaerolla voi olla merkittävä vaikutus ja liittymiskohdan lämpötila ei ole automaattisesti sama kuin koneesta säädetty ajo-lämpötila. Ylitettäessä kyseinen lämpötila-alue sauman vahvuus on maksimissaan ja polymeerimolekyylit sotkeutuvat toisiinsa muodostaen vaikeasti avattavan sauman (tear seal). Vaikka piilautuvan sauman on tarkoitus olla helposti avattava, pyritään siitäkin aina saamaan mahdollisimman luotettava ja tiivis. [22, s. 10, 18; 24, s. 352].

Liian matala saumaustlämpötila on helppo havaita pakkauksia tarkkailemalla, mutta koska operaattorit voivat säätää saumautumiskohdan sijaan vain saumaustyökalun lämpötilaa, on vaikea ymmärtää, mikä on sopiva lämpötila-alue ja milloin on kyse ylikuumenemisesta. Ylikuumeneminen aiheuttaa saumauskohtaan mikromeikkeitä ja repeämistä tai voi jopa polttaa kalvon saumauskohdasta kokonaan. Lämpötilan lisäksi ajoparametreista saumaustulokseen vaikuttaa paine ja saumausaika eli aika, jonka materiaali tarvitsee saavuttaakseen oikean saumaustlämpötilan saumauskohdassa. [16, s. 161; 22, s. 11]. Liian pieni paine aiheuttaa häviötä lämmön johtumisessa, eivätkä materiaalit tartu toisiinsa kunnolla. Liian suuri paine taas pakottaa nestemäiseksi sulaneen polymeerin liukumaan pois saumauskohdasta aiheuttaen mikroskaalan rosoisuutta ja lovia. Kun pakkaus altistuu rasitukselle, näistä lovista syntyy helposti huokosreikiä, jotka laajenevat helposti halkeamiksi. [22, s. 25].

Suurin merkitys sauman vahvuuteen on kuitenkin saumauskohdan lämpötilalla, ja asetettujen ajoparametrien lisäksi moni muu tekijä vaikuttaa siihen, mikä saumauskohdan lämpötila lopulta on. Esimerkiksi saumaustyökalun tiivisteiden ja lämmitysosien sekä rasian reunojen epäpuhtaudet aiheuttavat vaihtelua polymeerien liittymiskohdan lämpötilassa, ja täten saumaustulos on epätasainen tai jopa kauttaaltaan heikko. Epäpuhtauksina voidaan pitää rasian reunoille jääneitä tai työkaluun kerääntyneitä ainesosien jäämiä, rasvaa ja vettä. Kalvon tai rasian vääntyminen tai huono kohdistuminen aiheuttaa myös epätasaisista tarttumista, ja annossalaattirasioiden tapauksessa insertti jää helposti saumauskohdassa materiaalien väliin. [22, s. 25; 25]. Myös rasian suureunojen leveydellä on vaikutusta sauman onnistumisessa, sillä leveät suureunat helpottavat kohdistumista. Suurempi saumauspinta-ala tarjoaa hyvän tarttumisalueen saumalle, kestää

suurempaa painetta ja pienentää kapillaarivuotojen ja muiden epäkohtien todennäköisyyttä. Suurempi saumattu alue kasvattaa sauman vahvuutta vaikeuttamatta kuitenkaan piilautuvan kalvon avaamista, mutta toisaalta täytön yhteydessä tuotetta roiskuu helpommin rasian reunoille ja pienhiukkasia jää saumojen väliin. [26, s. 9].

Myös rasian ja kalvon virheet vaikuttavat saumaustulokseen. Ensinnäkin pakkauskoneeseen väärin asennettu kalvo on yksi syy huonoon saumautumiseen, sillä eri polymeerikerrokset poikkeavat toisistaan saumautuvuudessa. Myös liian löysälle tai kireälle säädetty kalvo aiheuttaa saumaan helposti ryppyjä. [1, s. 198; 27]. Muovirasioiden reunoille saattaa valmistusvaiheessa syntyä saumautuvuutta heikentäviä pintavirheitä, jotka johtuvat joko materiaalin tai muotin epäpuhtauksista tai muotin pintavirheistä [1, s. 106]. Muovikalvoissa esiintyviä virheitä voi olla esimerkiksi kalvokoneiden telojen pintavirheistä syntyvät naarmut tai vääristä ajoparametreista johtuvien virtaushäiriöiden aiheuttamat reiät, kuplat ja vaihtelut paksuudessa. Materiaaleissa virheitä kalvoon voivat aiheuttaa esimerkiksi sulamattomat partikkelit tai muoviraaka-aineen sekaan joutuneet roskat. [4]. Kalvon valmistuksessa muovi kuroutuu valuessaan suuttimen ja telojen välillä ja muuta paksummat reunat leikataan pois. Kun rasiapakkaamiseen tarkoitettut kapeat kalvorullat leikataan leveämmistä rullista, kuroutuminen saattaa silti aiheuttaa eroja eri kohdista leikattujen kalvorullien välille siten, että päätypalat voivat olla keskiosasta leikattuja paloja jäykempiä ja paksumpia. Liian paksu kalvo tarvitsee suuremman lämpötilan tai pidemmän ajan saavuttaakseen oikean lämpötilan saumauskohdassa. Siitä syystä myös vaihtelut paksuudessa aiheuttavat epätasaista saumautumista. [9; 26, s. 9].

Rasioiden ja kalvojen säilytysolosuhteet vaikuttavat niiden alkuperäisten ominaisuuksien säilymiseen. Piilautuvilla kalvoilla myös kalvon ikääntyminen voi vaikuttaa sen ominaisuuksiin ja sitä kautta saumautuvuuteen. Erään pakkausalan yrityksen (Rollprint Packaging) mukaan ikääntyneellä EasyPeel-kalvolla tuotettujen saumojen vahvuudet ovat tuoretta kalvoa matalampia ja lisäksi molemmissa tapauksissa sauman vahvuus laskee ajan kuluessa. Jos kalvoa säilytetään kovinkin pitkiä aikoja varastossa, se ei siis välttämättä enää käyttäydy alkuperäisten standardiensa mukaan, vaikka kaikki muut muuttujat pidettäisiin samana. [26, s. 7–8].

Sauman tiiveyttä ja vahvuutta olisi syytä tarkastella aistinvaraisesti, mutta myös kvantitatiivista dataa tuottavilla toimintakykyä mittaavilla testeillä. On kuitenkin huomioitava, että menetelmien välillä on suuriakin eroja ja menetelmästä riippuen saadaan hyvin erilaisia vahvuuksia. Esimerkiksi vaikka sauma ei painamalla aukeaisi suurestakaan

voimasta, se voi silti piilautua hyvinkin helposti. Sauman vahvuuksia vertailtaessa toisiinsa tuleekin mittaamiseen käyttää aina samaa menetelmää. [25; 26, s. 12].

6 Elintarvikepakkausten testaaminen

6.1 Kvalitatiiviset testit

6.1.1 Visuaalinen menetelmä

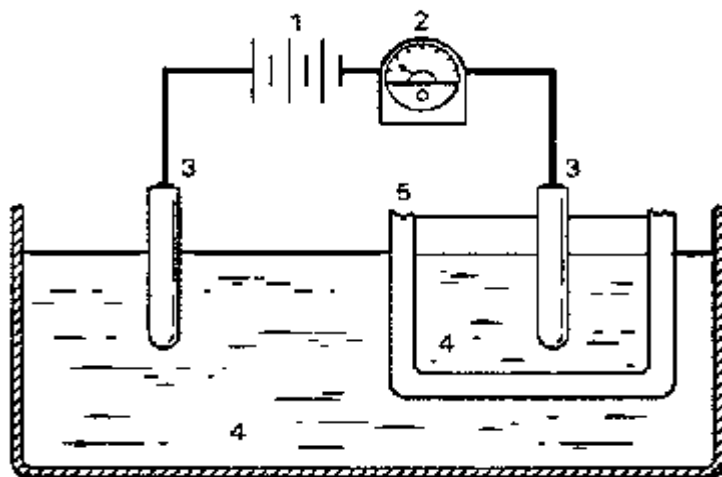
Visuaalinen menetelmä on yksinkertaisin tapa tutkia saumauksen onnistumista, ja sitä voidaan soveltaa kaikenlaisiin pakkauksiin. Amerikkalainen ASTM F1886 -standardi kuvailee, mitä kaikkea saumojen visuaalisessa tarkastelussa tulisi tutkia. Testissä käytetään käsiä ja silmiä sekä mahdollisesti apuvälineenä suurennuslasia asianmukaisella valaistuksella. Saumaa hierotaan sormilla mahdollisten laskosten, ryppyjen, karkeuden ja muun epätasaisuuden havaitsemiseksi. Virheiden sijainnit merkitään pysyvällä musteella. Muita aistinvaraisesti etsittäviä virheitä ovat kulumat, palaneet saumat, kapillaarivuodot, kontaminoitunut sauma, repeämät, roskat, geelit, polymeerikerrosten purkautuminen, epätasainen saumautuvuus, taitokset, väärin kohdistunut sauma, reiät, sauman leveyden vaihtelut tai muu epätasainen vaikutelma. Visuaalisessa tarkastelussa saadaan tulokseksi, onko saumassa virheitä vai ei, joten sen lisäksi olisi hyvä tehdä mekaanisia testejä sauman vahvuuden mittaamiseksi. Muovikalvolla suljetuille muovirasioille sopivia testejä ovat muun muassa puristustesti, avaustesti, elektrolyyttinen testi, painetesti sekä mustetesti. [28; 29, s. 643, 645].

6.1.2 Vuototestit

Vuototestit ovat visuaalista menetelmää informatiivisempia pakkausten testausmenetelmiä ja niillä voidaan nimensä mukaisesti arvioida saumojen vuotamista. Vuototestejä ovat kuplatesti, mustetesti ja sähkönjohtavuustesti, ja ne sopivat kaikenlaisille muovipakkauksille [1, s. 294]. Yksinkertaisimmillaan kuplatestissä pakkaus upotetaan veteen ja tarkastellaan kuplien syntymistä. Kuplat ovat merkki saumauksen vuotamisesta. Tulos voi olla joko positiivinen tai negatiivinen, eli joko sauma vuotaa tai ei vuoda. Kuplatestin etuna on sen helppous ja halpuus, mutta sauman vahvuudesta sillä ei saada kvantitatiivista tietoa. [30, s. 1211–1212].

Mustetestissä pakkaus leikataan auki pohjasta ja mahdollinen sisältö poistetaan. Sisäosat huuhdotaan huolellisesti vedellä ja kuivataan lämpimällä ilmalla. Värjäysaine valmistetaan esimerkiksi liuottamalla 5 g voimakkaasti fluoresoivaa rodamiini B -jauhetta 1 litraan isopropanolia. [29, s. 643]. Rodamiiniliuosta laitetaan pakkauksen sisälle siten, että se kattaa koko saumatun alueen. Ennalta määritetyn vaikutusajan jälkeen tarkastellaan, onko väriainetta päässyt saumojen läpi pakkauksen ulkopuolelle. Kun väriaine on täysin kuivunut, kalvo voidaan avata ja tarkastella rodamiiniliuoksen värjäämiä alueita saumauskohdassa. Näin voidaan selvittää esimerkiksi, oliko materiaalien väliin saumaunut jäämiä tuotteesta. Tyhjiä pakkauksia voidaan testata myös saumaamalla pakkaukset väriaineen kanssa, jolloin pakkauksia ei tarvitse leikata. [16, s. 164; 28]. Mustetesti kuvataan esimerkiksi standardissa ASTM F1929. Sen mukaan kaikki saumat, joissa on pienintäkään merkkiä vuotamisesta, hylätään. Testillä ei voida päätellä vuotojen kokoa. Testissä on noudatettava aina samaa suositeltua vaikutusaikaa, sillä ajan kuluessa värjäysaine tunkeutuu materiaalin läpi. Myös värjäysaineen tulee olla helposti erotettavissa pakkauksen pinnasta ja siksi se tulee valita pakkauksen värin mukaan. [31]. Mustetestin huonona puolena on, että menetelmä on todella hidas ja tulokset riippuvat usein sen suorittajasta [30, s. 1212].

Vuotoja voidaan tutkia myös virtapiiritestillä, sillä muovipakkaukset eivät yleensä johda sähköä, ellei pakkaus vuoda. Menetelmässä rasia leikataan auki pohjasta sekä tyhjenetään mahdollisesta tuotteesta ja puhdistetaan. Pakkaus täytetään puolilleen 1-prosenttisella NaCl-liuoksella ja asetetaan ylösalaisin samaiseen suolaliuokseen siten, että leikattu pohja jää nesteen pinnan yläpuolelle (kuva 11). Kaksi elektrodia liitetään johtimilla 9 V:n patterin napoihin ja joko 9 V:n lamppu tai ampeerimittari/yleismittari kytketään sarjaan tähän piiriin. Toinen elektrodeista asetetaan suolaliuokseen pakkauksen sisäpuolelle ja toinen suolaliuokseen pakkauksen ulkopuolelle.



Kuva 11. Virtapiiritesti (1. virtalähde, 2. yleismittari, 3. elektrodi, 4. NaCl-liuos, 5. pakkaus) [28].

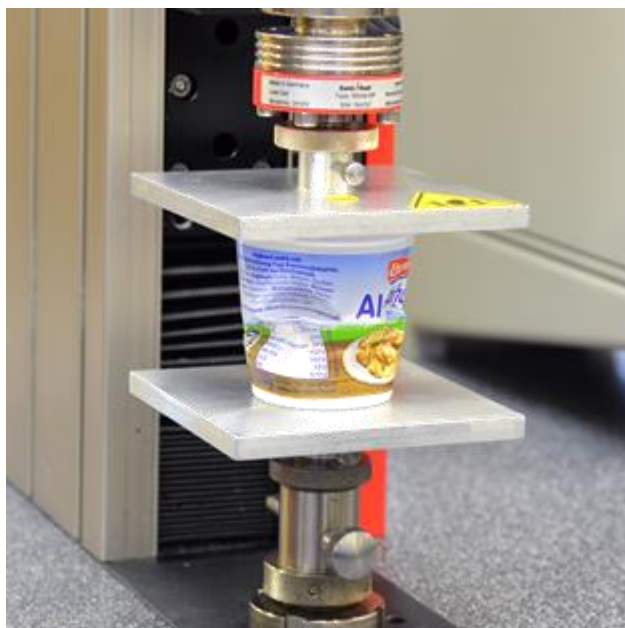
Testillä voidaan tutkia, onko sauma tiivis vai onko siinä silmin huomaamattomia vuotoja. Sauman vuotaessa koejärjestelystä syntyy suljettu virtapiiri, mikä näkyy mittarin lukemana. Jos sauma ei vuoda, piiri on avoin eikä virtaa kulje sen läpi. Pakkaus tulee muistaa kuivata huolellisesti huuhtelun jälkeen, sillä märät reunat voivat aiheuttaa väärän positiivisen tuloksen. [28; 29, s. 644].

6.2 Kvantitatiiviset testit

6.2.1 Puristustesti

Puristustestit mittaavat pakkauksen kykyä kestää sisäistä painetta, kun niitä esimerkiksi pinotaan varastoissa [29, s. 644]. Yksinkertaisin puristustesti, jolla tutkitaan, hajoaako pakkaus liian helposti vai ei, on rasiaa ehjyystesti. Rasiaa puristetaan sivuilta sen verran, että kalvo pullistuu n. 3 mm ylöspäin. Kalvoa voidaan myös kohtuullisella voimalla painaa alaspäin. Kummassakaan tapauksessa kalvon ei pitäisi irrota pakkauksesta. [28]. Tällainen testaus ei kuitenkaan kerro mitään siitä, kuinka vahva sauma todellisuudessa on. Yleisesti puristustesteissä pakkaus asetetaan kahden levyn väliin (kuva 12) ja tutkitaan, kuinka suurta voimaa pakkauksen seinämät kestävät litistymättä. Menetelmää käytetään yleisesti myös saumaamalla suljetuille joustopakkauksille sauman vahvuuden mittaamiseen. Ylempi levy painaa pakkausta kasaan tasaisesti kasvavalla voimalla ja sauman vahvuus on se voima, jossa pakkauksen sauma repeää. Näin voidaan tutkia myös, kestäkö pakkaus jonkin ennalta määritellyn painon. Menetelmää ei voida sellaisenaan

käyttää salaattirasioiden sauman vahvuuksien mittaamiseen, mutta sitä voitaisiin mahdollisesti soveltaa siihen. [24, s. 350; 28].

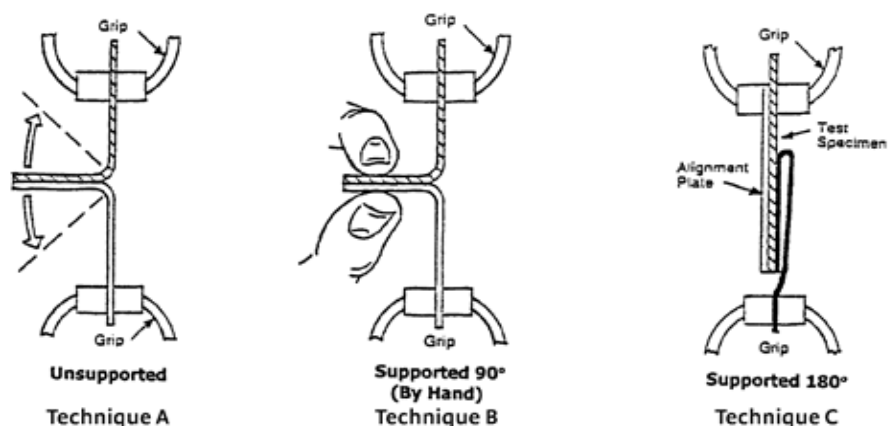


Kuva 12. Puristustesti jogurttipikarille [4].

6.2.2 Avaustestit

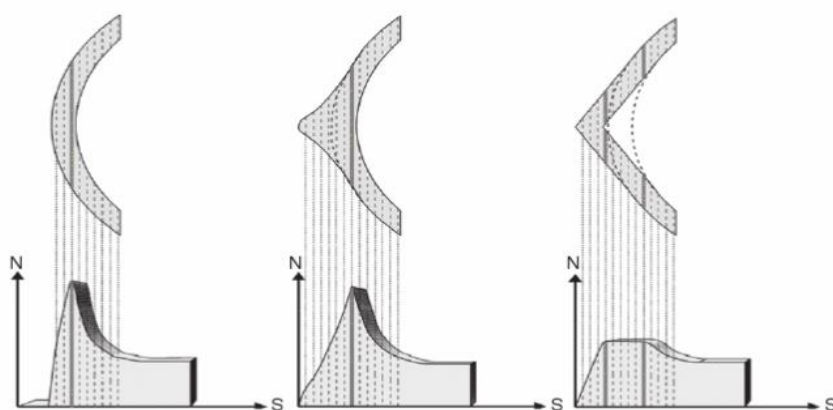
Peel test eli avaustesti tai piilaustesti määrittelee sauman vahvuuden kalvon avaamiseen tarvittavana voimana. Standardoitu testimenetelmä ASTM F88-00 joustavien suojamateriaalien sauman vahvuuden määrittämiseksi kuvaa tällaisen sauman vahvuuden mittaamisen menetelmän, ja sitä on käytetty 1960-luvulta lähtien. Tämä metodi määrittelee avausvoiman sauman leveyden läpi jossain sauman kohdassa. Menetelmässä leikataan pakkauksesta kaistale, joka piilataan saumaan nähden kohtisuorassa – ei siis sauman pituutta pitkin. Tästä syystä menetelmä soveltuu paremmin joustopakkauksille. Testissä kaistaleen päät kiinnitetään vastakkaisiin kiinnittimiin vetolujuuden mittauslaitteeseen ja vetovoima kohdistuu päiden väliin jäävään saumaan. Kiinnittimet vetävät puoliskoja erilleen vakionopeudella, ja laite mittaa erottamiseen tarvittavaa voimaa. Testin voi suorittaa kolmella eri tekniikalla (kuva 13), mutta valittu tekniikka on pidettävä samana koko testisarjan läpi, sillä eri kulmassa tehty testi antaa eri tuloksen, kun osa voimasta jakaantuu taivuttamiseen. Kuvan 13 tekniikassa C jäykempi materiaali on tuettuna ylempään kiinnittimeen asetettua kohdistuslevyä vasten. Myös rasiasta voitaisiin siis leikata näytekaistale aina samasta kohdasta, mutta tällä menetelmällä ei saada selville sauman vahvuutta sauman heikoimmassa kohdassa. Samaa periaatetta voisi kuitenkin soveltaa rasiaan,

mikäli kalvo saataisiin kiinnitettyä vetolaitteeseen pakkauksen keskeltä leikkelemättä pakkausta. [32].



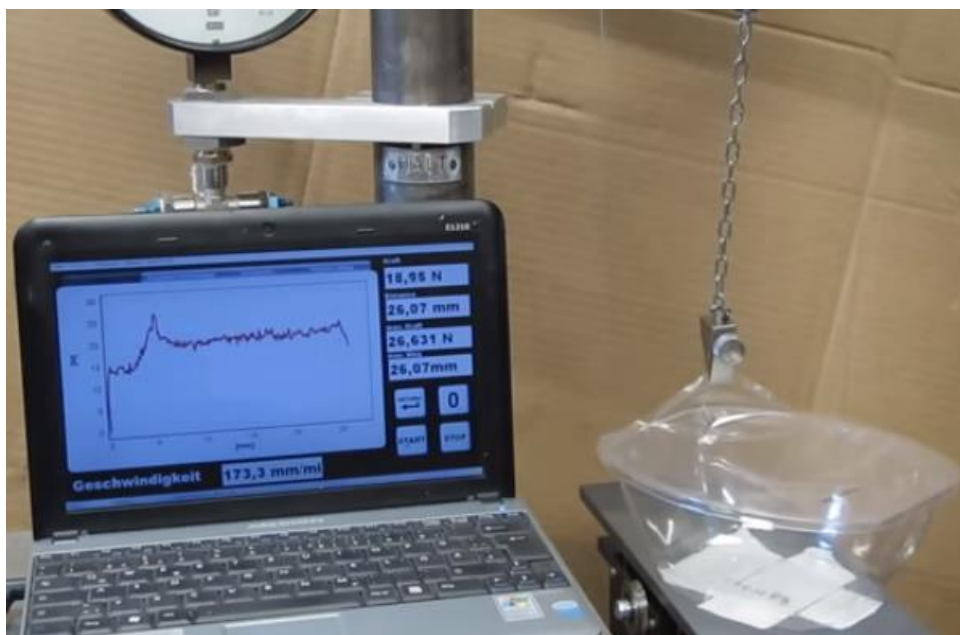
Kuva 13. ASTM F88 -standardin mukaiset kiinnitystekniikat näytekaistaleille [33].

ASTM F2824 - 10(2015) on standardoitu testimenetelmä mekaanisen sauman vahvuuden määrittämiseen pyöreistä kupeista ja vuoista, jotka on suljettu piilautuvilla kalvoilla. Menetelmä soveltuu mm. ovaalin, ympyrän sekä nelikulmion muotoisille rasioille, ja se eroaa edellä kuvaillusta menetelmästä siten, että koko pakkaus piilataan ja data kerätään koko saumatulta alueelta. Tuloksena saadaan kuvaaja avaamiseen tarvittavasta voimasta mittayksikön tai ajan funktiona. Kuvaajasta nähdään vaihtelut sauman vahvuudessa ja siten voidaan arvioida myös sauman yhtenäisyyttä minimi- ja maksimivahvuuksien lisäksi. [34]. Saumauksen geometrialla on vaikutusta avausvoimaan etenkin avausläpän alueella. Kuvassa 14 on esitetty sauman vahvuudet eri saumausgeometrioille. [16, s. 165].



Kuva 14. Sauman vahvuudet eri saumausgeometrioille [16, s. 165].

Pakkaus kiinnitetään vetolujuuden mittauslaitteistoon siten, että se lukitaan paikoilleen liikkuvaan aluslevyyn 45 asteen kulmassa, mikä simuloi kuluttajaa avaamassa pakkausta. Pakkaus asetetaan avauslappä alaspäin ja lappään kiinnitetään voima-anturi klipsin ja kaapelin avulla. Pakkaus voidaan pitää myös vaakatasossa tai muussa kulmassa, kunhan tulokset dokumentoidaan ja menetelmä validoidaan. [16, s. 166]. Kuvassa 15 näkyy kyseistä standardia noudattava Universal Grip Companyn yksinkertainen testauslaitteisto 90°:n kulmalla.



Kuva 15. Yksinkertainen laitteisto 90° avaustestin suorittamiseen ASTM F2824:n mukaisesti [35].

90 asteen kulmassa tehdyn testin etuna on se, että kalvo ja testin kuvaajan x-akseli ovat täysin saman suuntaiset. Kulmasta riippumatta testauslaitteen aluslevy liikkuu vaki-nopeudella ja samaan tahtiin kalvoa piilataan vetämällä ylöspäin. Näin haluttu kulma pysyy koko ajan samana. [16, s. 166; 35].

6.2.3 Hot tack

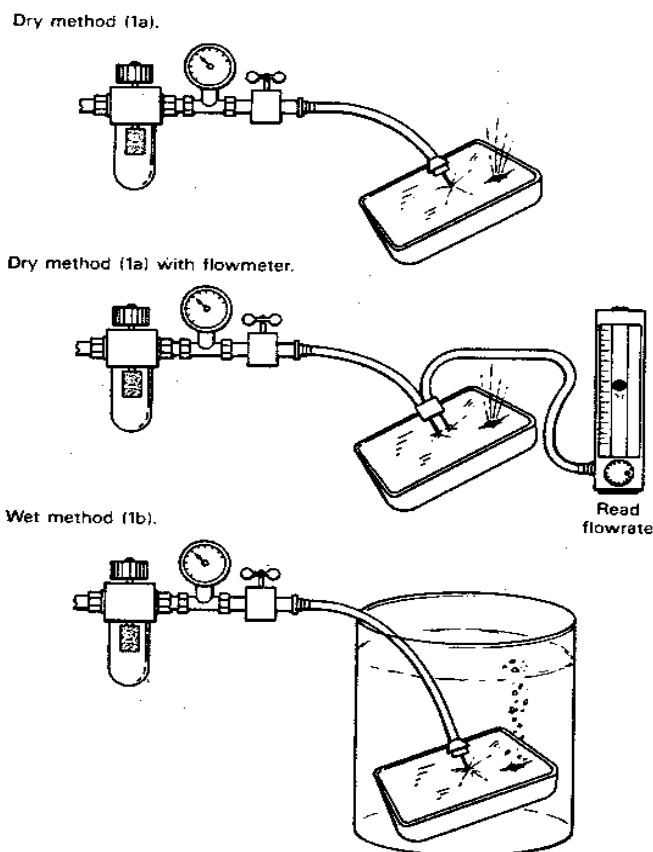
Hot tackilla tarkoitetaan kuuman sauman vahvuutta eli heti saumauksen jälkeen. Nykyaikaväitösten mukaan sauman tulisi olla kestävä jo heti saumauksen jälkeen. Hot tackia mitataan usein avaustestillä siten, että sekä saumaus että mittaaminen tapahtuvat samalla laitteella. Avaustestistä saadaan tulokseksi kuuman sauman vahvuus tietyssä sauman kohdassa. Koko saumauksen laajuudella avaustestillä ei voida mitata kuuman

sauman vahvuutta, sillä osa saumasta ehtii jäähtyä enemmän sillä aikaa, kun alkupäätä piilataan. [18, s. 240; 9]. Mittauksen voisi tehdä myös puristustestinä heti saumauksen jälkeen, ja tuotannossa olisi mahdollista käyttää linjastolle integroitua laitetta, joka painaa kantta sellaisella ennalta määritetyllä voimalla, joka saumauksen tulisi kestää.

6.2.4 Painetestit

Painetestissä (burst test) mitataan, millaista sisäistä painetta pakkaus kestää ja missä paineessa sauma pettää. Kuten puristustestissäkin, painetestin tuloksena löydetään koko sauman heikoin kohta ja sillä voidaan hyvin kuvata pakkauksen kykyä selviytyä kuljetuksesta ja käsittelystä. Testi suoritetaan siten, että pakkaus lävistetään ilman syöttöön tarkoitetulla neulalla esimerkiksi silikonisen tiivisteaineen läpi. Pakkausta tuetaan mahdollisimman monelta reunalta siten, että itse rasia pysyisi alkuperäisessä muodossaan ja paineen vaikutus kohdistuisi nimenomaan kalvoon ja saumaan. Menetelmä on kuvailtu ASTM F2054 -standardissa ja siinä pakkaukseen syötetään ilmaa hitaasti vakionopeudella, kunnes sauma alkaa vuotaa [16, s. 163]. Tuloksena dokumentoidaan joko sisäinen paine tai kulunut aika sauman hajoamishetkellä. Testi voidaan tehdä myös siten, että paine nostetaan johonkin tiettyyn pisteeseen ja pidetään siinä 30 sekunnin ajan, minkä jälkeen saumaa tarkastellaan muutoksien varalta. [24, s. 349–350; 29, s. 644].

Menetelmä soveltuu kaikenlaisille pakkauksille, ja se voidaan toteuttaa kolmella eri tekniikalla, jotka on kuvattu kuvassa 16. Testiin tarvitaan paineilmaa ja sen säädin, neula, venttiili, letku, tiivisteainetta ja painemittari tai virtausmittari. Painemittaria käytettäessä sauman pettämistä voidaan tarkastella silmin, kuuntelemalla tai sitten painehäviönä. Menetelmässä, jossa paine pidetään tietyllä tasolla 30 sekunnin ajan, sauman hajoamista voidaan tarkastella virtausmittarilla, sillä ilmavirta on merkki pakkauksen vuotamisesta. Kolmas tekniikka on suorittaa testaus siten, että pakkaus upotetaan veteen, jolloin sauman pettäminen havaitaan kuplina vedessä. Testin voi tehdä myös syöttämällä pakkaukseen vettä ilman sijaan. [28].



Kuva 16. Painetestin suoritustekniikoita [28].

Valmiita luotettavia laitteita on saatavilla esimerkiksi Labthinkiltä, jonka vuotojen ja sau-
man vahvuuden mittauslaite LSSD-01 toimii mainitun standardin mukaisesti ja mittaa
samalla neulalla pakkauksen painetta [36].

7 Materiaalit ja menetelmät

7.1 Materiaalit

7.1.1 Näytepakkaukset

Näytepakkauksina (kuva 17) käytettiin aina samoja PET-rasioita ja piilautuvaa
PA/PE/PET-kalvoa. Itse kalvorulla ja kalvoerä kuitenkin vaihtuivat eri näyte-erien välillä.

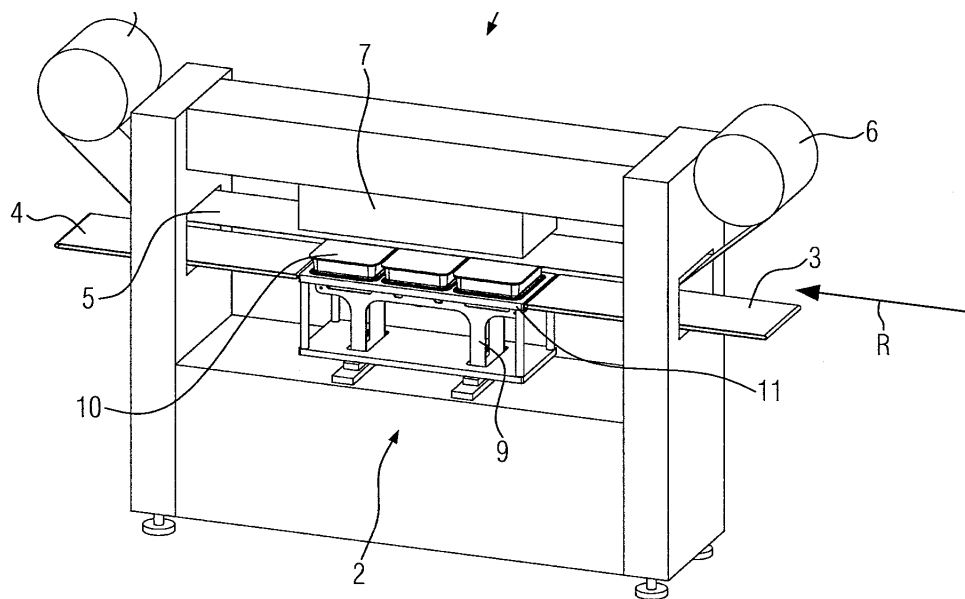


Kuva 17. Näytepakkaus

Rasiat suljettiin ja pakattiin suojakaasuun tyhjinä. Näytteet numeroitiin siinä järjestyksessä, kun ne tulivat ulos pakkauskoneesta.

7.1.2 Pakkauskone

Rasioiden sulkemiseen käytettiin yrityksen Multivac T700 -alustapakkauskonetta (kuva 18).



Kuva 18. Automaattinen alustapakkauskone [37].

Tyhjät rasiat asetettiin koneen syöttöhihnalle, josta horisontaalisesti liikkuvat tarttumat kuljettivat ne kolme kerralla eteenpäin saumausasemaan. Saumausasemassa rasioihin syötettiin suojakaasu (5 % O₂, 15 % CO₂ ja 80 % N₂) ja kalvo lämpösaumattiin kiinni rasiaan. Saumauksen jälkeen samat tarttumat kuljettivat rasiat poistohihnalle.

7.1.3 Koejärjestelyt ja mittauslaitteet

Koejärjestelyt rakennettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien toimipisteeseen pintakäsittelytekniikan laboratoriotiloihin. Testattavaksi menetelmäksi valittiin puristus-testi. Koejärjestelyjen suunnittelu puristustestiä varten aloitettiin kokeilemalla kalvon painamista käsin Vernierin 50 N:n voima-anturilla. Anturin kapasiteetti ei kuitenkaan riittänyt irrottamaan kalvoa, joten otettiin käyttöön 500 N:n voima-anturi (Erichsen Physimeter 906MC/500N, sarjanumero 00382, vuosi 2002) (kuva 19). Valmistajan mukaan voima-anturin tarkkuus on $\pm 0,2$ %.



Kuva 19. Erichsen Physimeter -voima-anturi

Voima-anturiin kiinnitettiin kalvon painamista varten puulevy. Alustavia testejä suoritettiin painamalla anturia käsin kalvoa vasten. Myöhemmin käyttöön otettiin 10 tonnin pöytämallinen käsipumpulla toimiva hydraulinen puristin (kuva 20).



Kuva 20. Pöytämallinen hydrauliprässi käsipumpulla

Näiden lisäksi koejärjestelyn rakentamiseen tarvittiin erilaisia työkaluja kuten mm. ruuvi-meisseliä, pihtejä, porakonetta, vatupassia ja sahaa. Kokeiden suorittamiseen tarvittiin myös sekuntikello.

7.2 Menetelmät

7.2.1 Koesuunnitelma

Mittaukset suoritettiin tyhjille suljetuille rasioille ja arvioitiin menetelmien luotettavuutta, eli toisin sanoen sitä saadaanko menetelmällä samoja tuloksia, kun kaikki muuttujat, joihin pystytään vaikuttamaan, pidetään vakiona. Ennen rasioiden sulkemista varmistettiin, että alustapakkaus koneen työkalu on puhdas ja että rasiat suljettiin aina samoilla

ajoparametreilla sekä syötettiin pakkauskoneeseen samoin päin. Ajoparametrit varmistettiin valitsemalla pakkauskoneen ohjausnäytöltä aina kyseisille rasioille tarkoitettu ohjelma. Hypoteesina oli, että sauman vahvuuksien pitäisi tällöin olla saman suuruisia. Näytteet merkittiin heti pakkaamisen jälkeen ja mittaukset suoritettiin 4 päivän sisällä pakkaamisesta.

Mittauksia suoritettiin pääsääntöisesti 30 rasian erillä, mutta pieniä säätötoimenpiteitä testattiin pienemmälläkin määrällä. Viimeiset testit tehtiin 100 rasian erällä, jotta voitiin arvioida luotettavasti reliabiliteettia eli mittauksen toistettavuutta. Jos mittaustulokset ovat likimain samat, niin mittaus on toistettava. Tuloksia vertailtaessa tilastollisena merkitsevyystasona pidettiin 0,05. Tulokset jaoteltiin sen mukaan, missä saumausaseman kammiossa (1., 2. vai 3.) rasia suljettiin, sillä eri saumauspaikkojen tiivisteiden kunnoissa saattaa olla eroavaisuuksia, jotka voivat vaikuttaa saumautumiseen. Mittaukset suoritettiin satunnaisessa järjestyksessä.

7.2.2 Puristustesti

Puristustesti suoritettiin soveltamalla luvussa 6.2.1 kuvattua menetelmää siten, että puristus kohdistettiin pienemmän puristuslevyn avulla reunojen sijasta kalvoon. Voima-anturiin kiinnitettiin aluksi 9,7 x 9 cm:n kokoinen hiottu puulevy, jota painettiin käsin kalvoa vasten ja testattiin millaisilla voimilla kalvo alkaa vuotaa tai irtoaa. Rasioita testattiin 15 kappaletta ja tulokset kirjattiin taulukkoon 2 (liite 1). Tämä testi tehtiin lähinnä siksi, että saadaan suuntaa siitä, millaisissa voimissa liikutaan. Koska alustavasti tehty puulevy ei ollut täysin tasainen eivätkä sen sivut olleet saman pituiset, testeissä varmistettiin, että puulevy on aina samoin päin. Myös rasia asetettiin aina siten, että teksti jää oikealle.

Seuraavissa testeissä voima-anturi kiinnitettiin hydrauliprässiin (kuva 21) ja alustaan merkittiin paikka salaattirasialle siten, että voima kohdistuu mahdollisimman keskelle rasiaa. Käsikäyttöinen hydrauliprässi toimi siten, että yhdellä pumpun painalluksella mäntä painui n. 15 mm alaspäin (=iskun pituus) samalla nopeudella, millä pumppua painettiin. Testi suoritettiin 33 rasiolla ja puristuksen etenemistä pyrittiin vakioimaan pitämällä pumppaustahti mahdollisimman tasaisena sekuntikellon avulla. Aluksi rasia asetettiin sille merkitylle paikalle ja varmistettiin oikea kohdistuminen. Sen jälkeen yhden rasian testaamiseen kului noin 25 sekuntia, minkä jälkeen pumpun venttiili avattiin ja mäntä palautui alkuasentoonsa. Mitattujen vahvuuksien (taulukko 4, liite 2) perusteella

pääteltiin, että puristusta voisi hidastaa huomattavasti, sillä anturin lukema nousi niin nopeasti 200 Newtoniin, ettei kalvolle edes jäänyt aikaa irrota aiemmin.



Kuva 21. Voima-anturi kiinnitettynä puulevyyn ja hydrauliprässiin

Seuraavalle kerralle tehtiin uusi symmetrinen 7,5 x 7,5 cm:n puulevy ja kiinnitettiin se voima-anturiin edellisen tapaan. Puristusta hidastettiin siten, että yksi painallus kesti n. 5 sekuntia. Yhden rasian testaaminen puristuksen aloittamisesta sauman pettämiseen asti kesti keskimäärin noin 40 sekuntia. Rasioita testattaessa huomattiin, että osa rasioista taipui jostakin seinämästä kasaan ennen kalvon irtoamista. Testaukset suoritettiin kuitenkin kaikki loppuun samalla tavalla ja tulokseksi kirjattiin se voima, jolla kalvo irtosi huolimatta siitä, taipuiko rasia ennen irtoamista vai ei. Tulokset kirjattiin taulukkoon 6 (liite 3).

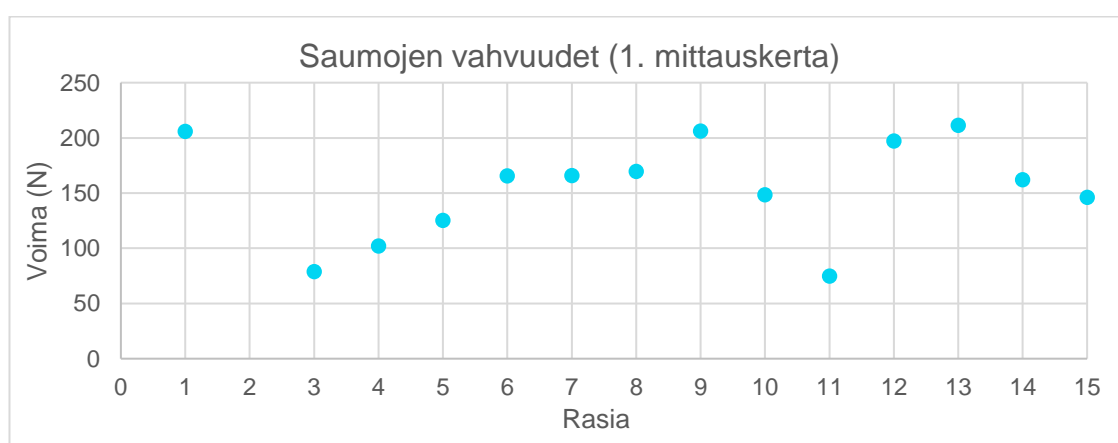
Ennen seuraavan erän testaamista kokeiltiin, mitä rasian taipuessa tapahtuu. Rasioita testattiin niin kauan, kunnes joku niistä taipui ennen kalvon irtoamista. Taipumishetkellä puristaminen keskeytettiin ja mäntä jätettiin kyseiseen asentoon odottamaan. Havaittiin,

että voima-anturin näyttämä lukema alkoi laskea merkittävästi. Tästä pääteltiin, että rasian seinämien rutistuessa voima ei enää kohdistu samalla tavalla kalvoon eikä puristusta näin ollen voitu jatkaa ja olettaa, että lopulta sauman pettäessä tulos olisi ollut vertailukelpoinen. Päätettiin, että mikäli jokin rasia jatkossa taittuu ennen sauman pettämistä, tulokseksi merkitään voima taipumishetkellä ja kirjataan rasia taipuneeksi. Seuraavan erän testaus suoritettiin muuten samalla tavalla kuin edellisen ja tulokset kirjattiin taulukkoon 8 (liite 4).

Viimeisenä testattiin 100 rasian erä samalla tavalla kuin edellinen, sillä tämän enempää ei koejärjestelyä pystytty käyttävissä olevilla resursseilla vakioimaan. Tulokset merkittiin taulukkoon 10 (liite 5). Ennen testaamista rasioiden ehjyys varmistettiin visuaalisesti ja poikkeamat kirjattiin ylös liitteeseen 5. Yhden rasian testaamiseen kului aikaa kokonaisuudessaan vaihdokset huomioiden noin 1,5 minuuttia.

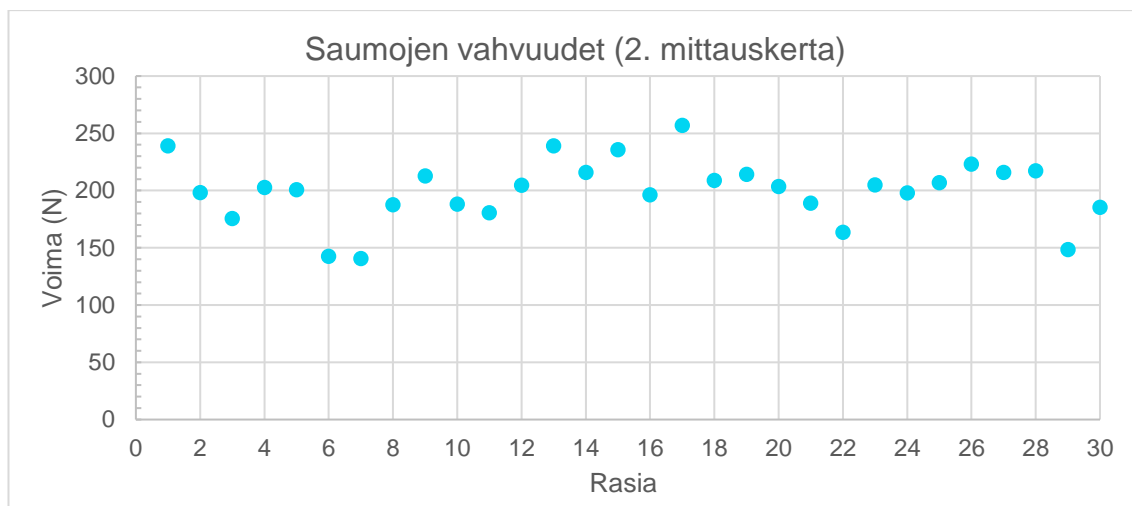
7.3 Puristustestin tulokset

Ensimmäisellä mittauskerralla käsin painettaessa saatiin 14 rasian saumojen vahvuuksien keskiarvoksi noin 154 N ja otoskeskihajonnaksi 45 N. Rasioista yksi oli valmiiksi auki eikä sitä otettu mukaan tulokseen. Saumojen vahvuuksista piirrettiin pisteikkökuva (kuva 22).



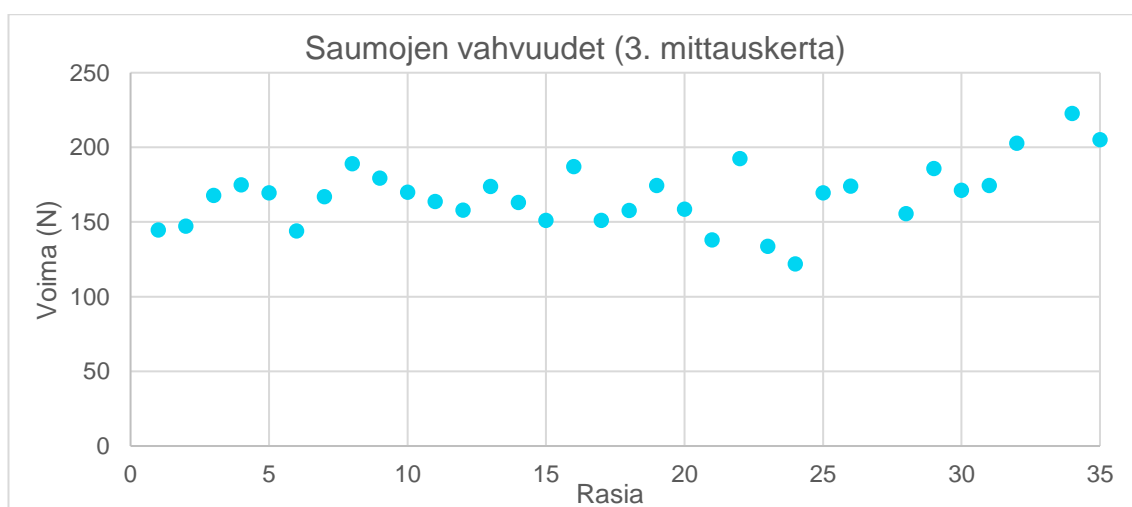
Kuva 22. Rasioiden saumojen vahvuudet ensimmäisellä mittauskerralla

Toisella mittauskerralla käyttöön otettiin hydrauliprässi ja 30 rasian saumojen vahvuuksien keskiarvoksi saatiin 200 N ja keskihajonnaksi 27 N eli noin 13,5 %. Saumojen vahvuuksista piirrettiin pisteikkökuva (kuva 23).



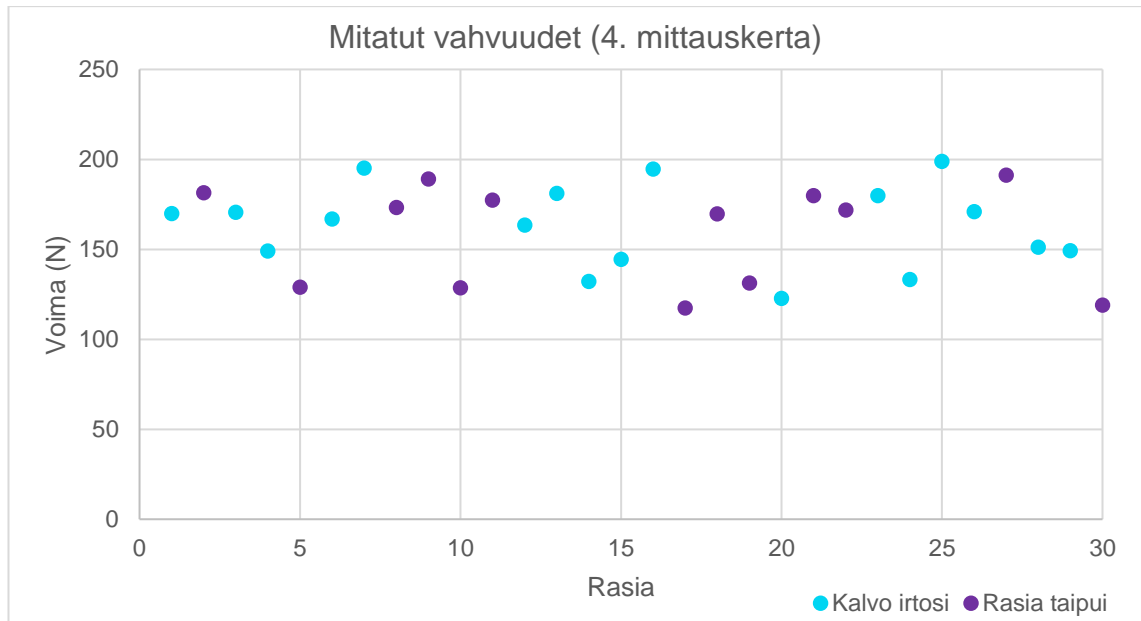
Kuva 23. Rasioiden saumojen vahvuudet toisella mittauskerralla

Puristuksen todettiin etenevän liian nopeasti ja sitä hidastettiin. Kolmannella kerralla 2 rasioista oli valmiiksi auki ja poikkeamat merkittiin liitteeseen 3. 33 rasioiden keskiarvoksi saatiin 168 N ja keskihajonnaksi 21 N eli standardimittausepävarmuus oli 12,5 %. Saumojen vahvuuksista piirrettiin taas pisteikkökuva (kuva 24).



Kuva 24. Rasioiden saumojen vahvuudet kolmannella mittauskerralla

Neljännellä mittauskerralla huomioitiin rasioiden taipuminen ennen kalvon irtoamista. Rasioita testattiin 30 kappaletta, joista 13 rasioiden seinämä taittui. Taipuneiden rasioiden vahvuudeksi merkittiin voima taipumishetkellä. Kuvassa 25 taipuneet rasiat on eroteltu liilalla värillä. Kaikkien tulosten keskiarvoksi saatiin 161 N ja keskihajonnaksi 25 N eli 15,3 %. Hylkäämällä taipuneet rasiat kokonaan sauman vahvuuksien keskiarvoksi saatiin 163 N ja otoskeskihajonnaksi 23 N eli 14,1 %.



Kuva 25. Puristustestissä mitatut voimat neljännellä mittauskerralla.

Viimeiset mittaukset toteutettiin 100 rasiolla. Rasioista oli valmiiksi auki 4 kappaletta (kuva 26). Näistä ei voitu mitata sauman vahvuutta, eikä niitä laskettu nollina mukaan keskiarvoon. Ne kuitenkin merkittiin poikkeamiksi (liite 5). Mitatuista rasioista 5 oli valmiiksi suureunasta taipuneita ja yhteensä 46 rasian seinämä taipui ennen kalvon irtoamista. Loput 50 rasiaa aukesivat saumauksesta, ja näistä 4 rasian sauma petti vuotamalla, kun muut poksahdivat auki. Tämä indikoi, että saumassa oli valmiiksi pieni ryppy/heikko kohta. Sihahtamalla auenneiden pakkausten sauman vahvuudet eivät kuitenkaan eronneet selvästi muista vaan olivat lähellä keskiarvoa (taulukko 10, liite 5).



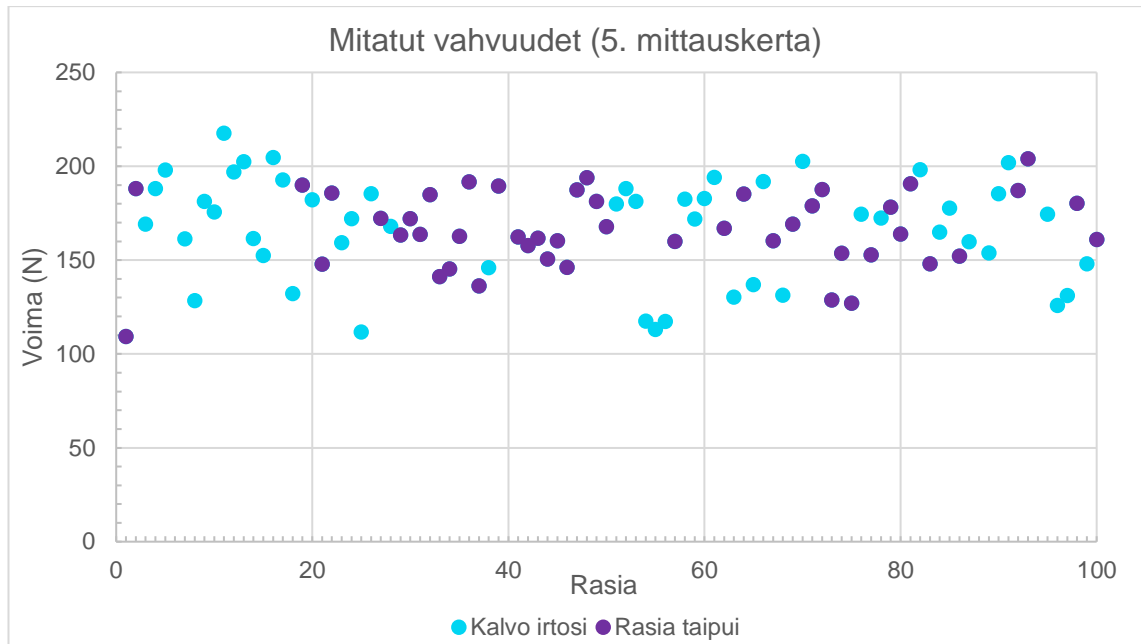
Kuva 26. Rasian valmiiksi auki oleva sauma

Taipuneiden rasioiden vahvuudeksi merkittiin voima taipumishetkellä. Taipuneiden rasioiden vahvuutta taipumishetkellä olisi voinut pitää virheellisesti saatuna tuloksena, sillä kyseessä ei ollut sauman vahvuus eli se voima, jolloin kalvo irtosi. Virheellisesti saadut tulokset jätetään aina pois, vaikka ne sopisivatkin muuhun dataan hyvin. Toisaalta, jos tuloksista joudutaan hylkäämään puolet, voidaan miettiä mittaako menetelmä todella sitä, mitä sen on tarkoitus mitata. Periaatteessa tulokset edustivatkin sitä voimaa, jonka rasia kesti ehjänä – eli taittumatta tai sauman pettämättä. Tämän ilmiön mittaamiseen voitiinkin käyttää kaikki tulokset ja itse asiassa sitä tämä menetelmä mittasikin, sillä kalvon irtoamiseen tarvittava puristusvoima oli niin suuri, että osa voimasta taivutti rasian seinämiä ja suureunoja (kuva 27) sekä venytti kalvoa.



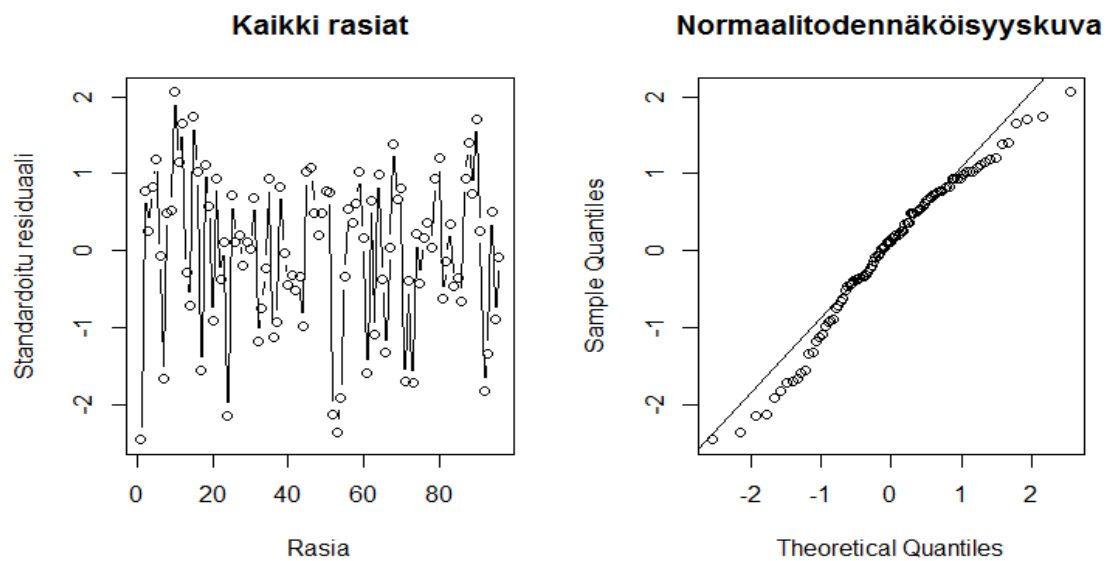
Kuva 27. Rasian suureunojen taipuminen painamisen johdosta

Taipuneiden rasioiden tulokset erotettiin muista tuloksista kuvaan 28 eri värillä. Auenneiden ja taipuneiden rasioiden välillä ei havaittu suuria eroja. Kuvasta huomattiin, että rasiat 29–50 olivat kaikki yhtä lukuun ottamatta niitä, jotka taipuivat ennen kalvon irtoamista.



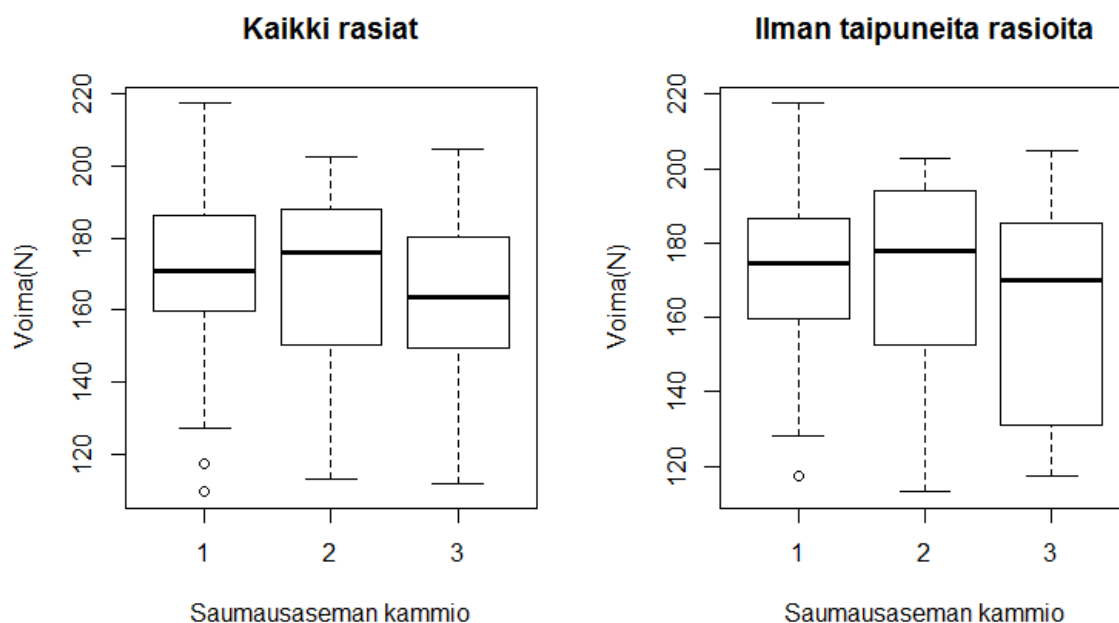
Kuva 28. Viimeisellä mittauskerralla mitatut voimat kalvon irrotessa tai rasian taipuessa

Tulosten analysointi tehtiin kuitenkin kaikilla rasioilla sekä ilman taipuneita rasioita. Aluksi tehtiin R-Studiolla varianssianalyysi, jossa muuttujana oli saumausaseman kammi ja vasteena voima. Muuttujan tasot olivat 1, 2 ja 3 sen mukaan, missä pakkauskooneen kolmesta kammioista rasia saumattiin (kuva 18). Kaikkien rasioiden tulosten normaalijakautuneisuus ja riippumattomuus varmistettiin standardoitujen residuaalien pisteikkökuvan ja normaalitodennäköisyyskuvan avulla (kuva 29).



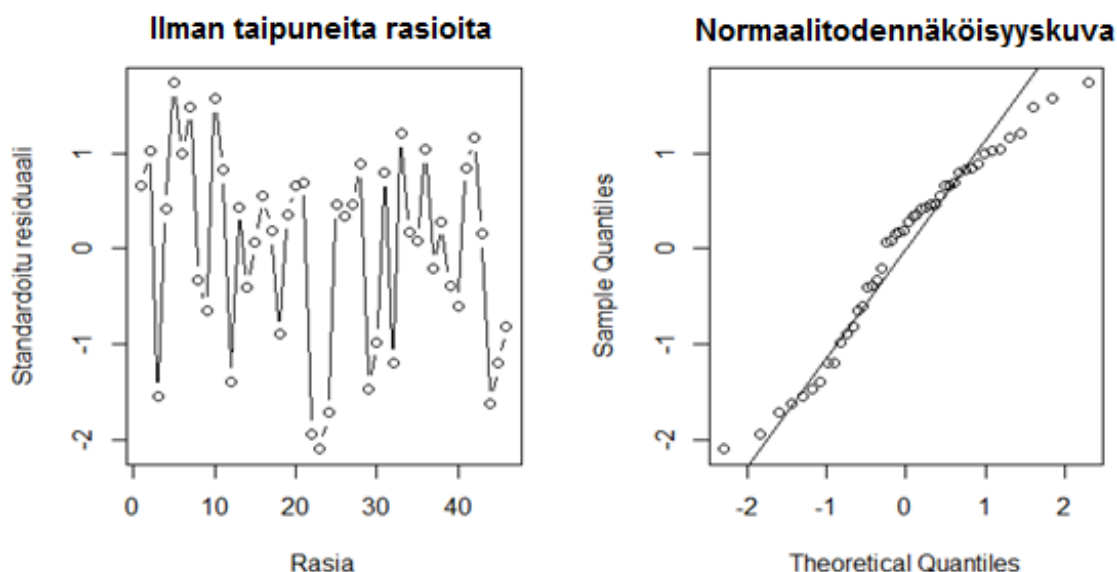
Kuva 29. Viimeisen koesarjan kaikkien rasioiden standardoidut residuaalit ja normaalitodennäköisyyskuva

Mikään standardoiduista residuaaleista ei ylitä itseisarvoltaan 3, eikä niiden pisteikkökuvassa ole riippuvuutta. Normaalitodennäköisyyskuvassa pisteet osuvat likimain suoralle, joten normaalijakaumaoletusta ei hylätä. Varianssianalysistä saatiin P-arvoksi 0,54, eli saumauskohta ei vaikuttanut 0,05:n merkitsevyystasolla rasian tai sauman kestämään voimaan. Havainnollistettiin saumauskohtien välisiä eroja Box & Whiskers -kuvaajilla (kuva 30). Ainoastaan ilman taipuneita rasioita piirrettyssä kuvassa kolmannessa saumausaseman kammiossa saumattujen rasioiden hajonta oli muita suurempi.



Kuva 30. Saumausaseman kammioiden vaikutus tuloksena saatuun vahvuuteen viimeisellä mitauksella

Kaikkien rasioiden tuloksista saumausaseman kammioille 2 ja 3 tehtiin T-testi eli tutkittiin, onko niiden keskiarvojen välillä tilastollisesti merkitsevää eroa 95 %:n luottamustasolla. P-arvoksi saatiin 0,29 eli suurempi kuin 0,05:n merkitsevyystaso, ja laskennallinen T-arvo oli pienempi kuin kriittinen T-arvo (taulukko 11, liite 5), joten keskiarvot eivät eronneet toisistaan merkitsevästi. Piirrettiin standardoitujen residuaalien pisteikkokuva sekä normaalitodennäköisyyskuva tuloksista jättäen taipuneet rasiat pois (kuva 31). Kuvasta 31 nähdään, että tulokset ovat tällöinkin riippumattomia ja likimain normaalijakautuneita. Ilman taipuneita rasioita tehdystä varianssianalysistä saatiin P-arvoksi 0,77, joka on suurempi kuin 0,05:n merkitsevyystaso, eli saumausaseman kammioilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sauman vahvuuteen.



Kuva 31. Viimeisen koesarjan standardoidut residuaalit ja normaalitodennäköisyyskuva ilman taipuneita rasioita

Kaikkien rasioiden tulosten keskiarvoksi saatiin 167 N ja keskihajonnaksi 24 N. Hylkäämällä taipuneet rasiat kokonaan, saatiin sauman vahvuuksien keskiarvoksi 168 N ja keskihajonnaksi 27 N (taulukko 1). Samaan taulukkoon laskettiin keskiarvon keskivirhe sekä odotusarvon luottamusväli kaikkien rasioiden tuloksista sekä hylkäämällä taipuneet rasiat. Koska otoskoko oli yli 30 ja jakauman tiedettiin noudattavan normaalijakaumaa, luottamusvälit saatiin kaavalla $\bar{x} \pm \frac{z\sigma}{\sqrt{n}}$, missä z = kriittinen arvo = 1,96, σ = keskihajonta ja n = otoskoko.

Taulukko 1. Viimeisen mittauskerran tuloksista lasketut arvot

	Kaikki rasiat	Ilman taipuneita rasioita
Keskiarvo (N)	166,9	167,5
Keskihajonta (N)	24,1	27,3
Odotusarvon luottamusvälin alaraja (N)	162,1	159,9
Odotusarvon luottamusvälin yläraja (N)	171,7	175,1
Variaatiokerroin (%)	14,5	16,3
Keskiarvon keskivirhe (N)	2,5	3,9

Kaikkien rasioiden odotusarvon luottamusväliksi saatiin $166,9 \pm 4,8$ N eli 95 %:n varmuudella keskiarvo on välillä 162,1–171,7 N. Ilman taipuneita rasioita odotusarvon luottamusväli oli 159,9–175,1 N. Kaikkien rasioiden mittausepävarmuus oli 14,5 % ja ilman taipuneita 16,3 %.

8 Yhteenveto ja pohdinta

Puristustestejä suoritettaessa huomattiin, että joidenkin rasioiden seinämät taipuivat kasaan ennen kalvon irtoamista. Rasian taipuminen aiheutti huomattavaa laskua mitattavassa voimassa, eikä näin ollen mittauksista voitu jatkaa ja olettaa myöhemmin sauman pettäessä saatavan voiman olevan vertailukelpoinen. Tulokseksi merkittiin näissä tapauksissa voima rasioiden taipumishetkellä. Kyseessä ei kuitenkaan ollut tällöin sauman vahvuus, ja mietittiinkin tällaisten virheellisten tulosten hylkäämistä. Mittauksia jatkettaessa havaittiin, että kalvon painaminen taivutti myös rasioiden suureunoja ylöspäin ja lähes puolet rasioista taipuivat seinämistään kasaan ennen sauman pettämistä. Jos tuloksista joudutaan hylkäämään puolet, on mietittävä, mitaako menetelmä todella sitä, mitä sen on tarkoitus mitata, eli sauman vahvuutta. Kalvon irtoamiseen tarvittava voima tällä menetelmällä on niin suuri, että osa voimasta taivuttaa rasiaa ja venyttää kalvoa. Menetelmää voikin itse asiassa käyttää mittaamaan sitä voimaa, jonka rasia kestää ehjänä – eli taantumatta tai sauman pettämättä. Tällöin saatuja mittauksia ei tarvitse hylätä ja 96 rasioiden vahvuuksien keskiarvoksi saatiin 167 N ja standardimittausepävarmuudeksi 14,5 %. Mittausten perusteella voidaan sanoa, että 95 %:n todennäköisyydellä rasioiden kestämät voimat ovat keskiarvoltaan 162–172 N, kun mittaukset toteutetaan täysin samalla tavalla.

Mittalaitteiden puuttumisen sekä koulun laboratorioissa alkaneen remontin takia ei voitu testata muita menetelmiä kuin puristustestiä. Alussa sovittiin, että mittaukset voidaan suorittaa koulun laboratorioissa ja aloitinkin työn teorian kirjoittamisella, jotta pääsen itsekin perille, millaisia mittauksia olisi mahdollista tehdä ja millaisia yleensä on käytetty. Alku sujui hyvin ja teorian sain kasaan tehokkaasti. Kun oli aika aloittaa mittaukset, sain kuulla, että koulun laboratorioiden remonttia on aikaistettu eikä käytössä ole oikeastaan muita kuin pintakäsittelytekniikan laboratoriot, joista ei löydetty muita työhön sopivia laitteita kuin voima-anturi. Kartoitettavia puristustestejä voitiin kuitenkin tehdä käsin voima-anturilla painamalla. Onnekseni käytettävissä olevista laboratoriotiloista löytyi lopulta viikon päästä hydraulinen prässä, jolla ainakin puristustestit voitiin suorittaa.

Koska menetelmä ei itse asiassa mitannutkaan nimenomaan sauman vahvuutta, sauman vahvuudesta ei voida tehdä muita varmoja johtopäätöksiä kuin se, että ne kestivät paljon suurempia voimia kuin oletettiin. Koska tunnettuja sauman vahvuuksia ei ole olemassa, eli ei tiedetä miten vahvoja niiden pitäisi olla, yritys voi itse päättää testausten perusteella, millaista voimaa sauman tai rasioiden pitää kestää ja onko jokin menetelmä

tarpeeksi tarkka. Vaikka menetelmällä ei voitukaan mitata nimenomaan sauman vahvuutta, se soveltuu silti mittaamaan sitä voimaa, jonka rasia kestää taipumatta tai sauman pettämättä. Suurinta hajontaa tulokseen aiheutti luultavimmin se, että puristuksen eteneminen toteutettiin käsin pumppaamalla. Puristuksen etenemistä pyrittiin vakioimaan sekuntikellon avulla siten, että yksi painallus kesti noin 5 sekuntia. Jatkossa puristamisen voisi tehdä hitaamminkin, jolloin kalvo irtoaisi luultavasti alhaisemmilla voimilla, mutta rasian testaamiseen kuluisi enemmän aikaa. Mikäli puristustestiä aiotaan yrityksessä käyttää, laitteiston tulisi olla sähkökäyttöinen siten, että puristus etenee tasaiseen tahtiin.

Muita virheitä tuloksiin on voinut aiheuttaa esimerkiksi saumaustyökalun ja materiaalien virheet, saumaustyökalun epähuolellinen puhdistus tai itse pakkauskoneen kyky tuottaa yhtenäisiä ja toisistaan poikkeamattomia saumoja. Mittauksia toteutettaessa viimeiset näytteet eivät vaikuttaneet siltä, että saumausasemaa olisi puhdistettu kunnolla. Rasioita oli pakkaamassa eri henkilöt kuin aiemmin, eikä rasioita ollut syötetty koneeseen samoin päin. Rasioista 4 oli valmiiksi auki siten, että kalvo ei selkeästi ollut kohdistunut oikein ja 5 rasian suureunat olivat valmiiksi taipuneet kaikki täysin samasta kohdasta. Pakkasin itse kolmannen mittauskerran rasiat ja huomasin, että virhettä ja muutenkin eroavaisuuksia rasioiden välille aiheuttaa varmasti myös se, että tarttujat kuljettivat rasiat saumausasemaan todella kovakouraisesti. Saumausaseman alaosa nousi yläasentoon todella nopeasti, eivätkä rasiat ehtineet kohdistua kunnolla tai samalla tavalla joka kerralla. Kaikki tämä aiheutti varmasti hajontaa tuloksiin ja osoitti myös sitä, ettei pakkauskone ainakaan nykyisillä asetuksilla kykene tuottamaan täysin yhtenäisiä ja toisistaan poikkeamattomia saumoja. Virhettä on voinut myös aiheuttaa esimerkiksi saumausaseman tiivisteiden kunnot, sillä niissä havaittiin halkeamia ja kuluneisuutta. Tulosten analysoinnin perusteella ei ollut tilastollista merkitystä, missä saumausaseman kohdassa rasia suljettiin, mutta tämä johtopäätös ei ole kovinkaan luotettava, sillä saumausaseman tiivisteiden kunnosta aiheutuva vaihtelu on todennäköisesti voinut hukkua suureen keskihajontaan.

Rasioita olisi syytä testata sellaisella laitteistolla, joka tiedetään varmasti reliaabeliksi. Vain näin voidaan sanoa varmasti, ovatko rasioiden, kalvojen tai pakkauskoneen aiheuttamat vaihtelut niin suuria, että ne vaikuttavat puristustestissä tutkittavaan suureeseen. Jos vakaasti etenevällä puristuksella saadaan vieläkin suuri hajonta, suosittelisin itse avaustestiä, sillä siihen rasioiden ja kalvojen virheiden ei pitäisi vaikuttaa suureunoja lukuun ottamatta. Painetestiä voisi myös harkita, mutta siinäkin osa paineesta taivuttaa

rasian seinämiä. Menetelmässä voisi kuitenkin käyttää rasian muotoista muottia, joka pitää rasiaa muodossaan. Puristustestissä muotista ei olisi apua, sillä millään ei voida estää suureunojen taipumista ylöspäin. Painetesti olisi syytä tehdä menetelmään tarkoitettulla laitteella, joka mittaa samalla pakkauksen sisäistä painetta. Tällöin tulos ei perustuisi oletukseen siitä, että kaikkien pakkausten paine on sama. Puristustestissä on huomattava, että valmista tuotetta testattaessa tuotteen määrä vaikuttaa tulokseen, sillä osa voimasta jakautuu painamaan tuotetta kasaan. Avaustestin etuna muihin olisi se, että tuotteen tai suojakaasun määrä ei aiheuta vaihtelua tulokseen. Piilaamiseen tarvittavat voimat ovat lisäksi niin paljon pienempiä, että kalvon nostaminen ei taivuta rasian reunoja vaan menetelmä mittaa nimenomaan sauman vahvuutta. Toisaalta avaustestillä ei saada tietoa siitä, millaisia ulkoisia pakkaukseen kohdistuvia rasituksia sauma kestää. Erilaisiin testeihin tarkoitettuja valmiita testauslaitteita tutkittiin ja mahdollisesti sopivia ratkaisuesimerkkejä on esitelty tämän työn liitteessä 6.

Tämä työ toimii esiselvityksenä puristustestin sopivuudesta sauman vahvuuden mittaamiseen. Työssä saatiin selvitettyä hyvin sauman vahvuuteen vaikuttavia suunnittelumuuttujia ja mahdollisia häiriömuuttujia, jotka tulee ottaa huomioon silloin, mikäli suunnitellaan pakkauskoneen ajoparametrien optimointia tai uusien materiaaliveikkojen käyttöönottoa matemaattisen mallinnuksen avulla. Suurilla sauman vahvuuksilla puristustestiä ei kuitenkaan voida käyttää sauman vahvuuden mittaamiseen, mutta sillä voisi varmasti osoittaa, mikäli kalvo irtaantuu aivan liian helposti. Mikäli tavoiteltavat sauman vahvuudet olisivat esimerkiksi 100 N:n luokkaa tai alle, myös puristustestiä voitaisiin käyttää jonkinasteiseen optimointiin ja testaamaan uusia materiaaleja. Vähimmäinen hyväksyttävä voima, jonka sauman täytyy kestää kalvon irtaamatta, on täysin yrityksen päätettävissä. Kun tällainen raja on päätetty, puristustestiä voitaisiin käyttää osana laadunvalvontaa siten, että testataan, kestääkö rasia kyseisen voiman ilman kalvon irtaamista tai rasian taipumista.

Lähteet

- 1 Järvi-Kääriäinen, Terhen & Ollila Margareetta. 2007. Toimiva pakkaus. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 2 Laine, Pia. 2016. Elintarvikkeiden pakkaustekniikka. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Elintarvikelaki. 2006. 13.1.2006/23.
- 4 Testing of Packaging. Verkkoaineisto. Zwick GmbH & Co.KG. <<https://www.zwick.com/en/food-and-packaging/food/testing-of-packaging>>. Luettu 13.3.2018.
- 5 Yleiset pakkausmerkinnät. Verkkoaineisto. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. <<https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/elintarvikkeista-annettavat-tiedot/pakkausmerkinnat/>>. Luettu 4.2.2018.
- 6 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista. 2004. 1935/27.10.2004.
- 7 Seppälä, Jukka. 2008. Polymeeriteknologian perusteet. 6. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 8 Parisi, Salvatore. 2012. Food Packaging and Food Alterations: The User-oriented Approach. iSmithers Rapra Publishing.
- 9 Merikoski, Mari. 2014. Uuden tuotteen testaaminen ja arviointi ekstruusiopäällystyksessä. Insinööritö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 10 Karjalainen, Loa & Ramsland Tuula. 1992. Pakkaus: pakkausalan oppikirja. Pakkausteknologiaryhmä Ry.
- 11 Tuoreet salaatit ja kulhoruoka. Verkkoaineisto. Apetit Oyj. <<http://www.apetit.fi/fi/tuotteet/tuotteet?c=17>>. Luettu 17.2.2018.
- 12 Hetki-tuotteet. Verkkoaineisto. Fresh Servant Oy Ab. <<http://www.hetkessa.fi/tuotteet>>. Luettu 18.2.2018.
- 13 Tuotteet. Verkkoaineisto. Digital Foodie Oy. <<http://www.foodie.fi/products/>>. Luettu 18.2.2018.
- 14 Pirkka-tuotteet. Verkkoaineisto. Kesko Oyj. <<https://www.k-ruoka.fi/pirkka-tuotteet>>. Luettu 20.2.2018.

- 15 Kerry, Joseph P. 2012. *Advances in Meat, Poultry and Seafood Packaging*. Philadelphia. Woodhead publishing.
- 16 Engelmann, Sven. 2012. *Advanced Thermoforming: Methods, Machines and Materials, Applications and Automation*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- 17 Kurri, Veijo; Malén, Timo; Sandell, Risto & Virtanen, Matti. 2002. *Muovitekniikan perusteet*. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 18 Abdel-Bary, Elsayed. 2003. *Handbook of Plastic Films*. Englanti: Rapra Technology Limited.
- 19 Respiration of fruits and vegetables. 2017. Verkkoaineisto. Food Crumbles. <<https://foodcrumbles.com/respiration-fruits-vegetables>>. Luettu 19.2.2018.
- 20 Modified Atmosphere Packaging for Fresh Fruits and Vegetables. Verkkoaineisto. Dansensor. <<https://www.modifiedatmospherepackaging.com/Applications/Modified-atmosphere-packaging-fruit-vegetables.aspx>>. Luettu 19.2.2018.
- 21 Why does lettuce turn red? 2018. Verkkoaineisto. Garden.eco. <<https://www.garden.eco/why-does-lettuce-turn-red>>. Luettu 19.2.2018.
- 22 Hishinuma, Kazuo. 2009. *Heat Sealing Technology and Engineering for Packaging*. Pennsylvania: DEStech Publications.
- 23 Rasiapakkauskone. Verkkoaineisto. Multivac Oy. <<https://fi.multivac.com/fi/pakkauskoneet-ja-ratkaisut/tuotteet/alustapakkauskoneet/>>. Luettu 20.2.2018.
- 24 Chichester C. O. 1977. *Advances in Food Research*, osa 23. Yhdysvallat: Academic Press Inc.
- 25 Heat Sealing Considerations for Sterile Barrier Systems. Verkkoaineisto. DuPont. <<http://www.dupont.com/products-and-services/packaging-materials-solutions/pharmaceutical-packaging/brands/tyvek-sterile-packaging/articles/heat-sealing-guidelines.html>>. Luettu 21.2.2018.
- 26 Baker, Matt. 2009. *Analysis of Peelable Film in Food Packaging*. Tutkielma. Clemson University. <<https://www.iopp.org/files/public/ClemsonMattBaker.pdf>>.
- 27 Testing seals on semi-rigid containers. 2003. Verkkoaineisto. Status Instruments, Ltd. <<http://laboratorytalk.com/article/54186/testing-seals-on-semi-rigid-co>>. Luettu 16.2.2018.
- 28 Arndt, George W. 2001. *Bacteriological Analytical Manual: Examination of Flexible and Semirigid Food Containers for Integrity*. Verkkoaineisto. U.S. Food and

- Drug Administration. <<https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm072703.htm>>. Luettu 24.2.2018.
- 29 Varzakas, Theodoros & Constantina Tzia. 2016. Handbook of Food Processing: Food Preservation. Florida: Taylor & Francis Group.
 - 30 Yam, Kit L. 2010. The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology. 3. painos. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
 - 31 ASTM F1929-15. 2015. Standard Test Method for Detecting Seal Leaks in Porous Medical Packaging by Dye Penetration. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
 - 32 ASTM F88/F88M-15. 2015. Standard test method for seal strength of flexible barrier materials. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
 - 33 ASTM-F88 Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials (Peel Test). Verkkoaineisto. Life Science Outsourcing, Inc. <<https://lso-inc.com/medical-package-testing/astm-f88.html>>. Luettu 25.2.2018.
 - 34 ASTM F2824 - 10(2015). 2015. Standard test method for mechanical seal strength testing for round cups and bowl containers with flexible peelable lids. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
 - 35 ASTM F2824 Seal strength of peel lids. 2017. Verkkoaineisto. The Universal Grip Company. <<http://www.universalgripco.com/astm-2824>>. Luettu 25.2.2018.
 - 36 LSSD-01 Leak and Seal Strength Detector. Verkkoaineisto. LabThink International, Inc. <<http://en.labthink.com/en-us/product/lssd-01-leak-and-seal-strength-detector.html>>. Luettu 27.2.2018.
 - 37 Osterrieder, Franz. 2012. Packaging machine with transport device. Patentti. US/2012/0272623 A1. Yhdysvallat: Patent Application Publication.

Ensimmäisen mittauskerran tulokset

Taulukko 2. Ensimmäisellä mittauskerralla mitatut voimat

Rasia	Voima (N)
1	206
3	79
4	102
5	125.3
6	165.5
7	165.9
8	169.8
9	206.2
10	148.4
11	74.8
12	197.2
13	211.6
14	162.2
15	146.2

Taulukko 3. Ensimmäisten tulosten keskiarvo ja otoskeskihajonta

Keskiarvo (N)	154.293
Otoskeskihajonta (N)	45.336

Poikkeamat: 1 rasia oli valmiiksi auki (nro 2)

Toisen mittauskerran tulokset

Taulukko 4. Toisella mittauskerralla mitatut voimat

Rasia	Suoritusjärjestys	Voima (N)
1	15	238.9
2	23	198.2
3	26	175.5
4	16	202.5
5	25	200.8
6	6	142.6
7	30	140.5
8	24	187.6
9	18	212.8
10	19	188.1
11	5	180.5
12	27	204.6
13	13	239
14	7	215.8
15	17	235.7
16	14	196.3
17	3	257
18	12	208.8
19	8	214.2
20	20	203.4
21	1	188.8
22	4	163.4
23	22	204.9
24	29	197.9
25	10	206.9
26	9	223
27	28	215.8
28	11	217.3
29	2	148.5
30	21	185.4

Taulukko 5. Toisen mittauskerran tulosten keskiarvo ja keskihajonta

Keskiarvo (N)	199.8233
Keskihajonta (N)	27.0192

Kolmannen mittauskerran tulokset

Taulukko 6. Kolmannella mittauskerralla mitatut voimat

Rasia	Suoritusjärjestys	Voima (N)	Saumauskohta
1	12	144.8	1
2	20	147.3	2
3	28	168	3
4	30	175	1
5	8	169.6	2
6	1	144	3
7	16	167	1
8	3	189.2	2
9	7	179.4	3
10	9	170	1
11	11	163.9	2
12	15	158.1	3
13	22	173.9	1
14	19	163.1	2
15	2	151.1	3
16	34	187.2	1
17	31	151.2	2
18	24	157.9	3
19	13	174.6	1
20	5	158.7	2
21	33	138.1	3
22	26	192.5	1
23	4	133.9	2
24	10	122.1	3
25	6	169.6	1
26	14	174.1	2
28	29	155.7	3
29	23	186	1
30	21	171.3	2
31	18	174.5	3
32	27	202.9	1
34	17	222.7	2
35	25	205.1	3

Taulukko 7. Kolmannen mittauskerran tuloksista laskettuja arvoja

Keskiarvo (N)	167.9545
Keskihajonta (N)	20.91787
Suhteellinen keskihajonta (%)	12.4544
Virhemarginaali (N)	7.136885
Odotusarvon luottamusvälin alaraja (N)	160.8176
Odotusarvon luottamusvälin yläraja (N)	175.0914

Poikkeamat: Kaksi rasiaa oli valmiiksi auki (nro 27 ja 33)

Neljännän mittauskerran tulokset

Taulukko 8. Neljännellä mittauskerralla mitatut voimat

Rasia	Järjestys	Voima (N)	Saumauskohta	Mittaushetki
1	9	169.9	1	Kalvo irtosi
2	10	181.4	2	Taipui
3	25	170.5	3	Kalvo irtosi
4	3	149.1	1	Kalvo irtosi
5	15	129	2	Taipui
6	21	166.8	3	Kalvo irtosi
7	11	195.2	1	Kalvo irtosi
8	29	173.3	2	Taipui
9	16	189	3	Taipui
10	26	128.6	1	Taipui
11	14	177.3	2	Taipui
12	1	163.4	3	Kalvo irtosi
13	17	181	1	Kalvo irtosi
14	13	132.1	2	Sihahti
15	24	144.4	3	Kalvo irtosi
16	22	194.6	1	Kalvo irtosi
17	28	117.4	2	Taipui
18	27	169.6	3	Taipui
19	2	131.2	1	Taipui
20	12	122.7	2	Kalvo irtosi
21	23	179.9	3	Taipui
22	19	171.8	1	Taipui
23	30	179.8	2	Kalvo irtosi
24	20	133.2	3	Sihahti
25	6	198.9	1	Kalvo irtosi
26	5	171	2	Kalvo irtosi
27	7	191.2	3	Taipui
28	18	151.2	1	Kalvo irtosi
29	4	149.2	2	Kalvo irtosi
30	8	119	3	Taipui

Taulukko 9. Neljännän mittauskerran tuloksista laskettuja arvoja

	Kaikki rasiat	Ilman taipuneita
Keskiarvo (N)	161.057	163.118
Keskihajonta (N)	24.650	22.979
Virhemarginaali (N)	8.821	10.923
Odotusarvon luottamusvälin alaraja (N)	152.236	152.194
Odotusarvon luottamusvälin yläraja (N)	169.877	174.041
Suhteellinen keskihajonta (%)	15.31	14.09
Keskiarvon keskivirhe (N)	4.500	5.573

Poikkeamat: 13 rasian seinämä taittui ennen kalvon irtoamista

Viidennen mittauskerran tulokset

Taulukko 10. Viidennellä mittauskerralla mitatut voimat

Rasia	Suoritusjärjestys	Voima (N)	Saumauskohta	Mittaushetki
1	1	109.3	1	taipui
2	5	188	2	taipui
3	6	169.2	3	sihahti
4	4	188.1	1	kalvo irtosi
5	18	198	2	kalvo irtosi
7	16	161.3	3	sihahti
8	13	128.3	1	kalvo irtosi
9	10	181.3	2	kalvo irtosi
10	2	175.6	3	sihahti
11	3	217.5	1	kalvo irtosi
12	7	196.9	2	kalvo irtosi
13	12	202.4	3	kalvo irtosi
14	9	161.5	1	kalvo irtosi
15	17	152.4	2	kalvo irtosi
16	8	204.6	3	kalvo irtosi
17	11	192.6	1	kalvo irtosi
18	14	132.2	2	kalvo irtosi
19	83	189.9	3	taipui
20	89	182.1	1	kalvo irtosi
21	95	147.8	2	taipui
22	86	185.6	3	taipui
23	100	159.2	1	kalvo irtosi
24	96	172	2	kalvo irtosi
25	92	111.7	3	sihahti
26	98	185.4	1	kalvo irtosi
27	99	172.2	2	taipui
28	84	167.9	3	kalvo irtosi
29	88	163.4	1	taipui
30	94	172	2	taipui
31	85	163.6	3	taipui
32	87	184.8	1	taipui
33	93	141.2	2	taipui
34	90	145.3	3	taipui
35	91	162.7	1	taipui
36	97	191.6	2	taipui
37	20	136.2	3	taipui
38	22	145.9	1	kalvo irtosi
39	30	189.4	2	taipui
41	25	162.4	3	taipui

42	32	157.7	1	taipui
43	24	161.6	2	taipui
44	21	150.6	3	taipui
45	31	160.2	1	taipui
46	19	146.1	2	taipui
47	29	187.4	3	taipui
48	33	193.9	1	taipui
49	28	181.2	2	taipui
50	27	167.7	3	taipui
51	35	179.8	1	kalvo irtosi
52	23	188	2	kalvo irtosi
53	55	181.3	3	kalvo irtosi
54	36	117.4	1	kalvo irtosi
55	60	113	2	kalvo irtosi
56	63	117.3	3	kalvo irtosi
57	68	160	1	taipui
58	58	182.5	2	kalvo irtosi
59	62	171.8	3	kalvo irtosi
60	66	182.7	1	kalvo irtosi
61	51	194.1	2	kalvo irtosi
62	52	166.9	3	taipui
63	34	130.3	1	kalvo irtosi
64	61	185.1	2	taipui
65	64	136.9	3	kalvo irtosi
66	67	191.8	1	kalvo irtosi
67	57	160.3	2	taipui
68	59	131.2	3	kalvo irtosi
69	65	169.2	1	taipui
70	53	202.6	2	kalvo irtosi
71	56	178.9	3	taipui
72	54	187.6	1	taipui
73	81	128.7	2	taipui
74	78	153.6	3	taipui
75	77	127	1	taipui
76	39	174.5	2	kalvo irtosi
77	42	152.8	3	taipui
78	45	172.3	1	kalvo irtosi
79	40	178.2	2	taipui
80	50	163.9	3	taipui
81	49	190.7	1	taipui
82	82	198.2	2	kalvo irtosi
83	37	148	3	taipui
84	38	164.8	1	kalvo irtosi
85	41	177.7	2	kalvo irtosi

86	43	152	3	taipui
87	46	159.8	1	kalvo irtosi
89	47	153.8	2	kalvo irtosi
90	48	185.4	3	kalvo irtosi
91	72	201.9	1	kalvo irtosi
92	76	187.1	2	taipui
93	70	204	3	taipui
95	69	174.5	1	kalvo irtosi
96	73	125.8	2	kalvo irtosi
97	80	131.1	3	kalvo irtosi
98	75	180.3	1	taipui
99	79	148	2	kalvo irtosi
100	71	160.9	3	taipui

Poikkeamat: Rasioista oli neljä valmiiksi auki (nro 6, 40, 88, 94). Viiden rasian suureuna oli taipunut ilmeisesti huonon kohdistumisen takia reunan jäädessä väärin saumaustyökalun ala- ja yläosien väliin. Mittauksia suoritettaessa 46 rasian seinämä taittui ennen kalvon irtoamista.

Taulukko 11. Saumauskohdista 2 ja 3 saatujen tuloksien T-testi

	Kohta 2	Kohta 3
Mean	169.4219	163.0438
Variance	579.5992	560.7019
Observations	32	32
Pooled Variance	570.1505	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	62	
t Stat	1.06846	
P(T<=t) one-tail	0.144728	
t Critical one-tail	1.669804	
P(T<=t) two-tail	0.289456	
t Critical two-tail	1.998972	

Testauslaitteita

Hydraulisia prässejä on saatavilla käsikäyttöisinä ja sähköisinä versioina. Käsikäyttöisen puristimen puristusnopeutta on vaikeaa vakioida, sillä puristus etenee joko käsin veivamalla tai paineilmaa pumppaamalla. Tästä syystä sähköisesti toimiva laite olisi paras vaihtoehto, mutta pöytäkokoisia prässejä on saatavana lähinnä vain käsin pumpattavina malleina. Sähköhydrauliset prässit ovat lähinnä korjaamoille ja teollisuuden liitoksiin suunniteltuja ja siksi aivan liian massiivisia haluttuihin tuotantotiloihin ja niiden puristusvoimat ovat tarpeettoman suuria (jopa 75000 kg).

Paras vaihtoehto olisi harkita jonkin laboratoriolaitteiden valmistajan laitteita. Valmiita puristus-, avaus- ja painetesteihin suunniteltuja laitteita on saatavilla esimerkiksi Zwick Roellilta, Instronilta ja Labthinkilta. Lajittelen seuraavaksi esimerkkejä mahdollisesti sopivista laitteistoista näiden kolmen valmistajan mukaan.

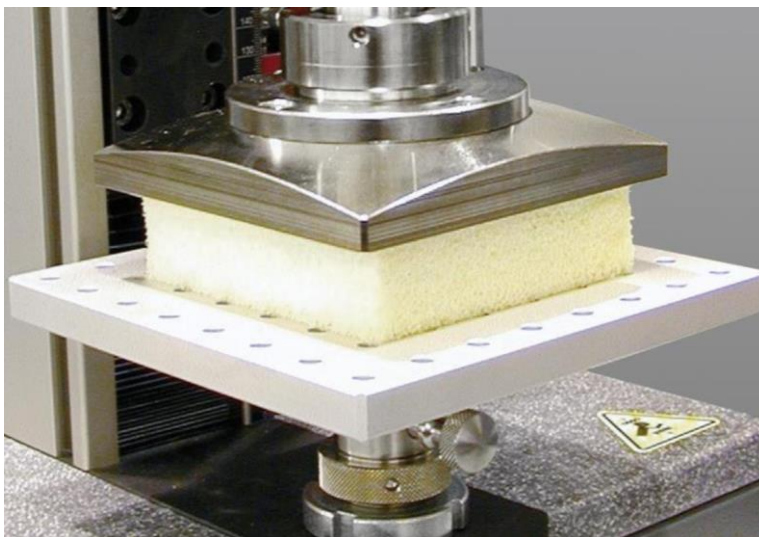
Zwick Roell

Zwick Roellin zwickiLine (kuva 32) soveltuu joustavasti voimien testauksiin. Laitteen koko on n. 45 x 45 cm ja sitä on saatavina eri korkuisina. Se soveltuu hyvin eri korkuisille ja levyisille pakkauksille, ja pakkaus voidaan kiinnittää testialustaan tukevasti. Nopeutta voidaan säätää hyvinkin hitaaksi, ja se pysyy vakioituna. Laitetta on saatavilla eri voimakapasiteeteilla 0,5–2,5 kN välillä.

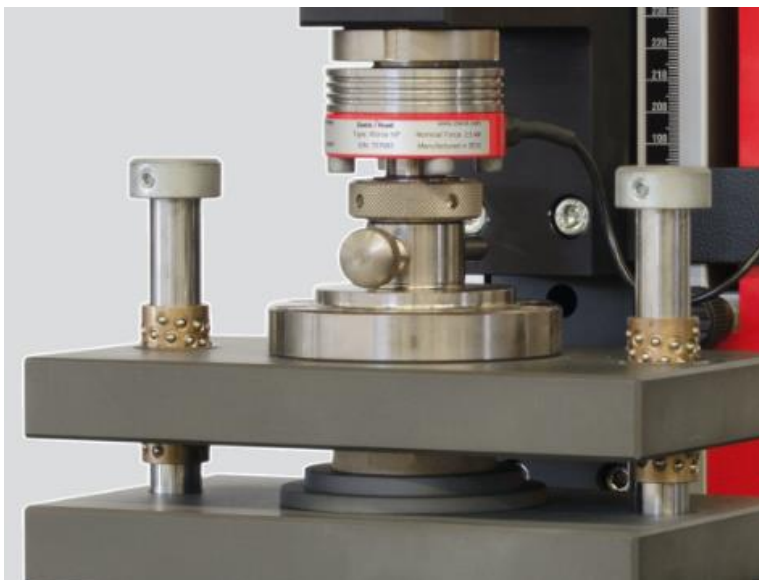


Kuva 32. zwickiLine-testauslaite

Erilaisten lisäosien avulla laite voidaan muokata sopivaksi puristus-/kompressiotestejä sekä myös avaustestejä varten. Saatavilla on esimerkiksi eri muotoisia ja kokoisia puristuslevyjä ja alustoja (kuva 33) sekä yhteensopivia voima-antureita (kuva 34), joista data saadaan siirrettyä automaattisesti tietokoneelle. Kaikissa laitteissa testausalueen syvyys on 10,5 cm, mutta muutenkin tarvittavien lisäalustojen avulla testejä voidaan suorittaa suuremmillekin pakkauksille.



Kuva 33. zwickiLineen lisättävä puristuslevy ja alusta



Kuva 34. zwickiLineen lisättävät puristuslevyt ja päällä voima-anturi

(Lähde: Products. Verkkoaineisto. Zwick GmbH & Co.KG. <<https://www.zwick.com/products>>. Luettu 22.4.2018.)

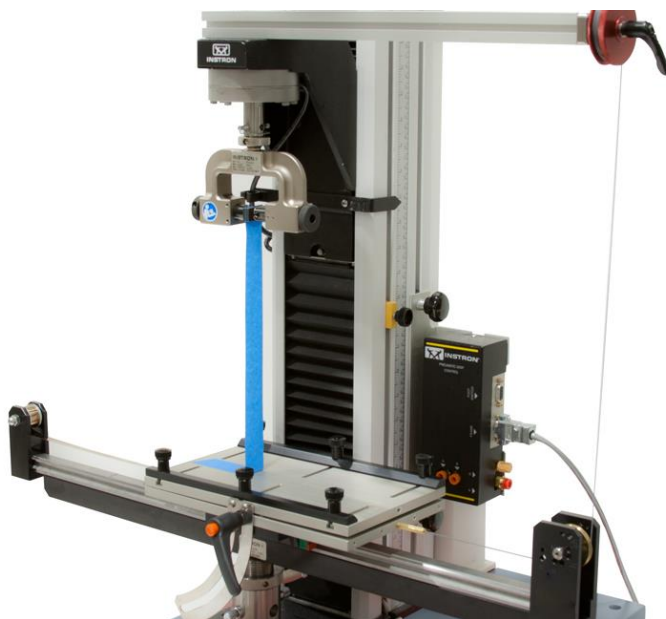
Instron

Instronilla on myös zwickiLinen kaltainen universaalinen testauslaite (3342 Single Column Universal Testing System), joka on varustettu kosketusnäytöllä ja siksi käyttäjäystävällinen (kuva 35).



Kuva 35. Instron 3342 universaalinen testauslaite

Instronin laite soveltuu myös puristustesteihin sekä avaustesteihin siihen liitettävien lisäosien ansiosta. Kuvassa 36 mitataan Instronin laitteella teipin adheesiota piilaamalla 90 asteen kulmassa. Alusta liikkuu sitä mukaa, kun teippiä piilataan ja tätä testiä voi soveltaa hyvin myös salaattirasioihin.



Kuva 36. 90 asteen piilaustesti teipille

Instronilla on myös pöytäkokoisia hydraulisia painimia, joiden kapasiteetti on kuitenkin minimissään 25 kN.

(Lähde: Testing Systems. Verkkoaineisto. Illinois Tool Works Inc. <<http://www.instron.us/en-us/products/testing-systems>>. Luettu 22.4.2018)

Labthink

Labthinkillä on helppokäyttöisiä laitteita painetestin suorittamiseen. Esimerkiksi i-Leaktek 6600 Leak & Seal Strength Tester ja LSSD-01 Leak & Seal Strength Detector -laite (kuva 37) syöttää pakkaukseen ilmaa ja mittaa samalla pakkauksen sisäistä painetta.



Kuva 37. Labthink LSSD-01 -laite painetestin suorittamiseen

Testialue on 1,5 ~ 600 KPa ja paineilmaa voidaan syöttää eri nopeuksilla. Laitteella on myös mahdollista tehdä painetestejä siten, että pakkauksen sisäinen paine nostetaan tiettyyn pisteeseen ja testataan kestääkö pakkaus kyseisen paineen ennalta määritellyn ajan.

(Lähde: Testing Instruments. Verkkoaineisto. Labthink International, Inc. <<https://www.labthinkinternational.com/products/index.html>>. Luettu 22.4.2018.)